

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки **13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)**

Отделение **Электроэнергетики и электротехники**

Профиль **Электропривод и автоматика**

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Частотно-регулируемый электропривод охладителя агломерата

УДК 62-83-52:622.788

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Меркурьев Владимир-		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю.	к.т.н..		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кащук И.В.	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем.</i>
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.</i>
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. зав. кафедрой- руководителя
ОЭЭ ИШЭ

_____ А.С. Ивашутенко
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г5А1	Меркурьеву Владимир-

Тема работы:

Частотно-регулируемый электропривод охладителя агломерата	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№58-27/с от 27.02.2020г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2020г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; синтез и анализ линеаризованной системы автоматического управления регулируемого электропривода; синтез и анализ нелинейной САУ РЭП; расчет статических и динамических

	характеристик, социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.
Перечень графического материала	<ul style="list-style-type: none"> - схема кинематическая; - схема электрическая принципиальная; - схема электрическая функциональная; - схема электрическая структурная; - демонстрационный лист; - технико-экономические показатели;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	20.03.2020г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю.	к.т.н.		20.03.2020г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Меркурьев Владимир-		20.03.2020г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

Период выполнения весенний семестр 2019 /2020 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2020г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.05.2020	Основная часть	60
15.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
18.05.2020	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

И. о. зав. кафедрой- руководителя ОЭЭ ИШЭ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит страниц – 96 , рисунков – 30, таблиц – 16, источника литературы -32, приложение

Слова ключевые: ОХЛАДИТЕЛЬ АГЛОМЕРАТА, ЧАСТОТНО–РЕГУЛИРУЕМЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПЕРЕМЕННОГО ТОКА; СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ; ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.

Объектом исследования и проектирования является электропривод переменного тока частотно–регулируемый.

Цель работы: модернизация электропривода охладителя агломерата посредством замены электропривода постоянного тока на современный асинхронный электропривод с частотным управлением.

В двухдвигательном электроприводе на основе асинхронного двигателя надлежит разрешить задачу выронить и согласовать нагрузку между двумя двигателями.

В выпускной квалификационной работе был сделан расчет с последующим выбором приводного двигателя; питающего преобразователя частоты, а также были рассчитаны и определены параметры силовой цепи.

Был выбран и обоснован способ управления, рассчитаны и построены электромеханические и механические характеристики.

Пользуясь методом имитационного моделирования с помощью средств ЭВМ были исследованы процессы переходные в основных режимах работы электропривода.

Выпускная квалификационная работа выполнена с использованием текстовом редакторе MicrosoftWord на белой бумаге формата А4 , так же использовались программа MathCAD 14, программный пакет MATLAB R2008b - Simulink, Microsoft Excel, Microsoft Visio, Paint.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	9
1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	10
1.1 Структура и технологический процесс агломерационного цеха	10
1.2 Принцип действия и конструкция охладителя агломерата	11
1.3 Технические данные охладителя ОПЗ-315	12
2 ПРОЕКТНО-РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ	15
2.1 Выбор электрооборудования и расчет параметров силовой цепи	15
2.2 Расчетные параметры двигателя	17
2.3 Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным	17
2.4 Функциональная схема асинхронного электропривода со скалярным управлением	21
2.5 Особенности выбора частотно-регулируемого электропривода охладителя агломерата	22
2.6 Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода	25
2.7 Расчет электромеханических и механических характеристик при частотном управлении	26
2.8 Расчет электромеханических и механических характеристик при частотном управлении	28
3 ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА	30
3.1 Функциональная схема электропривода охладителя агломерата	30
3.2 Математическое описание и структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат α, β	31
3.3 Имитационная модель двухфазного двигателя	34
3.4 Имитационная модель силового канала электропривода	36
3.5 Выбор типа задатчика интенсивности и его параметров	37
3.6 Имитационные исследования электропривода охладителя агломерата	39
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	46
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	47
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	48
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений	48
4.1.2 SWOT анализ	49
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	50
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	50
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	51
4.2.3 Бюджет научно-технического исследования	55
4.2.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования	55
4.2.3.2 Расчет амортизации специального оборудования	56
4.2.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	57

4.2.3.5 Накладные расходы.....	60
4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	61
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	66
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	67
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	67
5.2 Производственная безопасность	69
5.2.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	69
5.2.2 Запыленность и загазованность	71
5.2.3 Шум	71
5.2.4 Производственная вибрация	72
5.2.5 Освещенность	73
5.3 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.....	73
5.4 Экологическая безопасность.....	75
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	77
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	78
CONCLUSION	80
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	81
ПРИЛОЖЕНИЕ А	84

ВВЕДЕНИЕ

Современный электропривод переменного тока включает в себя приводной преобразователь частоты со звеном постоянного тока и инвертором с широтно-импульсной модуляцией. В настоящее время наиболее широко применяются преобразователи с автономными инверторами напряжения. Поскольку в качестве источника питания используется 3-х фазная сеть переменного тока, то в состав преобразователя частоты входит 3-х фазный управляемый или неуправляемый выпрямитель. В преобразователь встроена система управления электропривода с микропроцессорным управлением и внешним интерфейсом, обеспечивающим пользователю широкие возможности практического применения.

Набор имеющихся аппаратных средств в сочетании со встроенным программным обеспечением позволяет реализовать различные конфигурации электропривода от простейших разомкнутых систем до сложных замкнутых систем регулирования скорости и положения.

В данной системе применяется закон регулирования U/f – регулирования при различных соотношениях частоты.

1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

1.1 Структура и технологический процесс агломерационного цеха

Агломерационный цех состоит из следующих основных подразделений :

- отделения приемных бункеров;
- склада шихтовых материалов;
- корпуса дробления известняка;
- корпуса измельчения топлива;
- смесительного отделения;
- спекательного корпуса;
- отделения охлаждения агломерата;
- отделения сортировки агломерата.

Транспортная связь между отделениями, отдельными машинами и агрегатами фабрики осуществляется в основном ленточными конвейерами.

При расположении агломерационной фабрики непосредственно на металлургическом предприятии имеется возможность использовать при производстве агломерата побочные продукты и отходы металлургического производства: колошниковую пыль, отсев агломерата и окатышей, окалину, мелкий кокс (получаемый при его сортировке в доменных и коксохимических печах). Отпадает также необходимость в транспортировке этих материалов. В качестве топлива для зажигания шихты можно использовать доменные и коксовые газы.

В бункера 1 подают железосодержащую часть шихты (концентрат, руду, колошниковую пыль и возврат), а также коксик и известняк. Перед подачей коксик подвергают дроблению в четырехвалковой дробилке, а известняк – в молотковой. Из бункеров шихтовые материалы в определенных соотношениях выдают питателями-2 на ленточный конвейер-3. Затем материалы поступают в барабанный смеситель-4 и окомкователь или вторичный смеситель-5, в которых они перемешиваются, увлажняются и окомковываются. Далее подготовленная таким образом шихта подается в бункера –распределители-6, где грохочением из

шихты выделяют крупную фракцию – подстилочный материал (постель). Питателями шихты укладывают на ленту машины-8 сначала крупную фракцию, а затем остальную часть шихты. Уложенная на непрерывно движущиеся тележки (ленту) шихта поступает под зажигательный горн-7, который зажигает находящийся в шихте коксик, и благодаря непрерывному просасыванию через шихту воздуха эксгаустером-15 происходит ее спекание. Эксгаустер создает разрежение под рабочей ветвью машины в вакуум-камерах-8а, что обеспечивает удаление в атмосферу через дымовую трубу-16, газообразных продуктов сгорания. На участке газового коллектора-13, между машиной и эксгаустером продукты сгорания очищаются в газоочистительном устройстве-14 от пыли и просыпи шихты и агломерата. С агломерационных машин агломерат попадает на валковую дробилку-9, где происходит измельчение. Затем его отправляют на грохот-10, а затем в охладитель-11. Охлажденный агломерат подвергается грохочению на стационарном грохоте-12, где он разделяется на годный продукт и возврат. Фракция менее 10 мм. возвращается в бункера 1. Агломерат крупнее 10 мм. считается пригодным для доменной плавки. После сортировки кондиционный агломерат транспортерами направляется в доменный цех. Принципиальная схема технологического процесса агломерации представлена на рис. 1

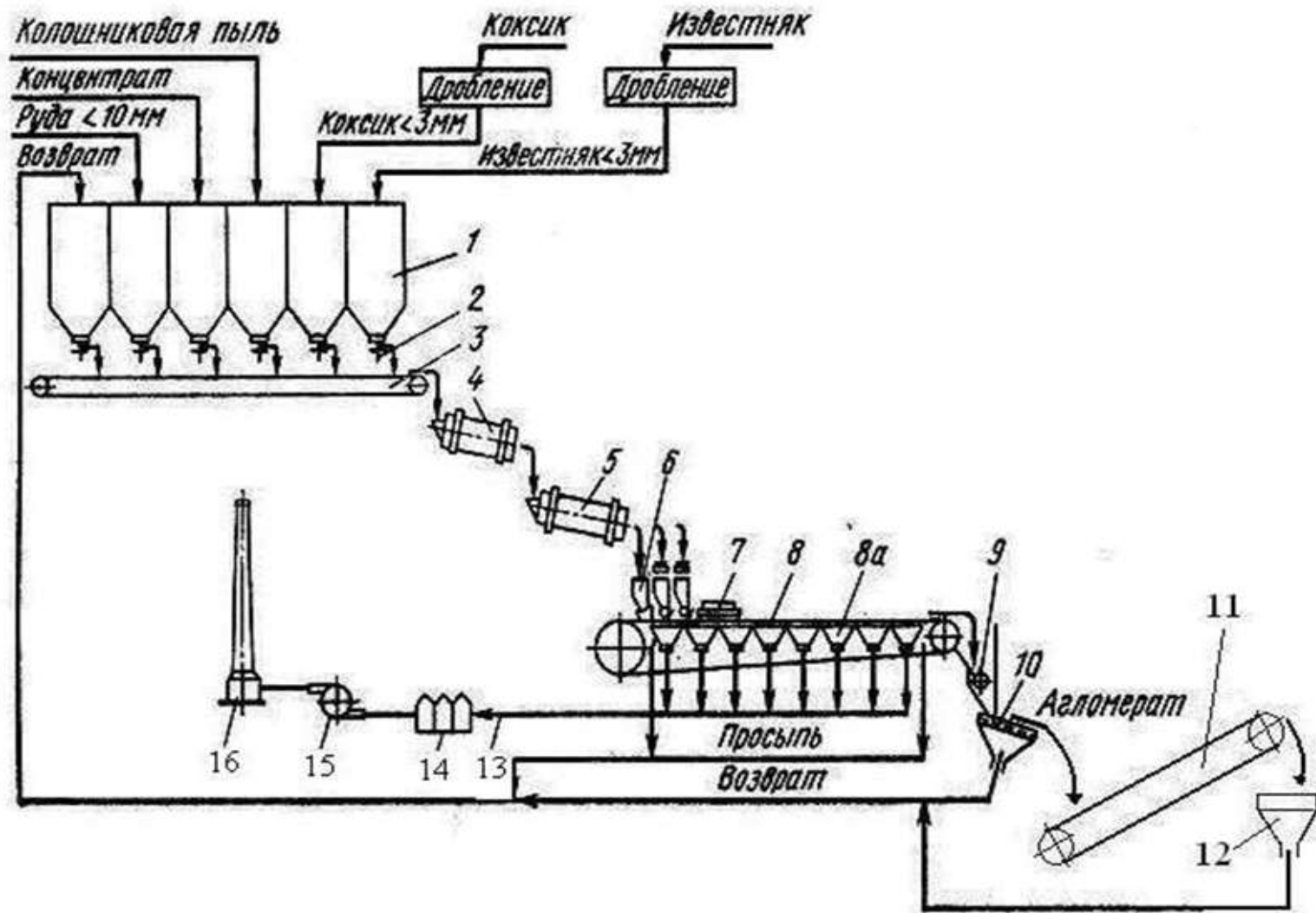


Рис.1. Принципиальная схема технологического процесса агломерации

1.2 Принцип действия и конструкция охладителя агломерата

Средняя температура спекшегося агломерата составляет 500-600°C, а в нижней части 1200°C. Использование горячего агломерата в доменной плавке не активизирует процесс восстановления, вместе с тем оно отрицательно влияет на стойкость электрооборудования системы подачи шихты к доменным печам и ухудшает условия работы в доменном цехе. В связи с этим, агломерат требуется охлаждать. Для этого, в агломерационном цехе ОАО «ЗСМК» используют охладитель агломерата ОП-315. Общий вид охладителя представлен на рис. 2 (а, б).

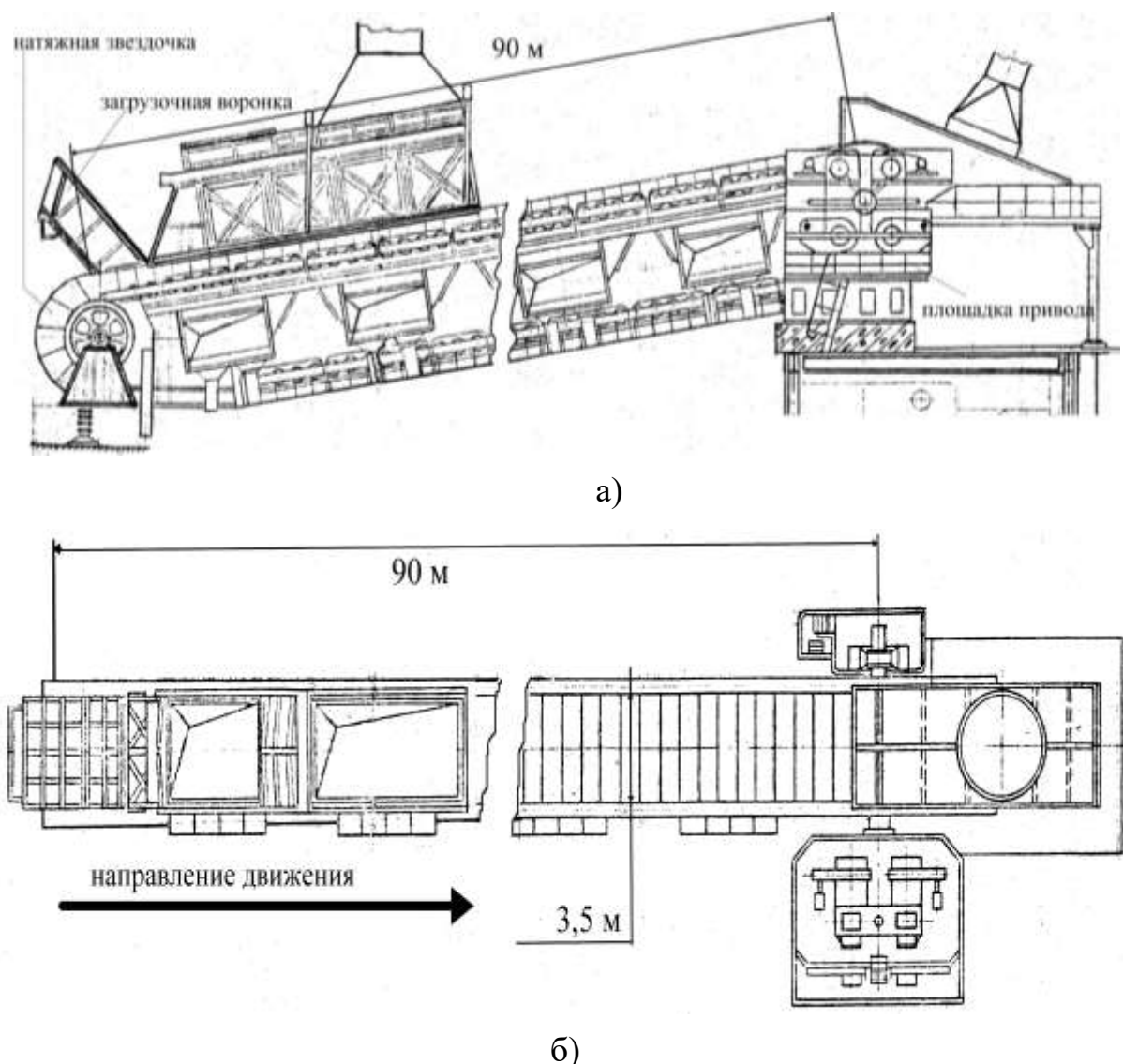


Рис. 2. Общий вид охладителя агломерата ОП-315

Данный тип охладителя достаточно экономичен и прост. Он представляет собой цепной конвейер, у которого тяговым элементом являются две цепи, а

грузонесущим – колосниковые решетки, соединенные между собой так, что образуют непрерывную ленту. Также в состав охладителя входят загрузочная воронка и приемное устройство. Чтобы цепи не провисали под тяжестью решеток и агломерата, имеются две натяжные звездочки в нижней части охладителя. Шесть вентиляторов охлаждают агломерат путём продувания его воздухом снизу вверх до температуры 100°С. От способа и режима охлаждения зависят качество продукции, количество мелочи и выход годного агломерата, а также условия работы последующего оборудования и обслуживающего персонала. Чрезмерное охлаждение агломерата также нежелательно, так как при этом увеличиваются энергетические затраты и время доменной плавки. Поэтому требования, предъявляемые со стороны технологического процесса к электроприводу, можно назвать жесткими.

1.3 Технические данные охладителя ОПЗ-315

Технические данные охладителя агломерата ОПЗ-315 сведены в таблицу 1.

Табл. 1. Технические данные охладителя ОПЗ-315

Наименование	Единица измерения	Величина
Производительность	т/ч	740
Активная рабочая площадь	м ²	315
Длина	м	90
Ширина	м	3,5
Скорость движения полотна	м/мин	1 - 3

Продолжение Табл. 1. Технические данные охладителя ОПЗ-315

Высота слоя агломерата	мм	600 – 700
Подпор в дутьевых камерах	мм в/ст.	220
Угол наклона охладителя	градус	16
Коэффициент сопротивления		0,05
Скорость ведомых звездочек	c^{-1}	0,15
Мощность эл.двигателей	кВт	2*55

Устройство привода охладителя ОП-315 пояснено на рис. 3 и 4.

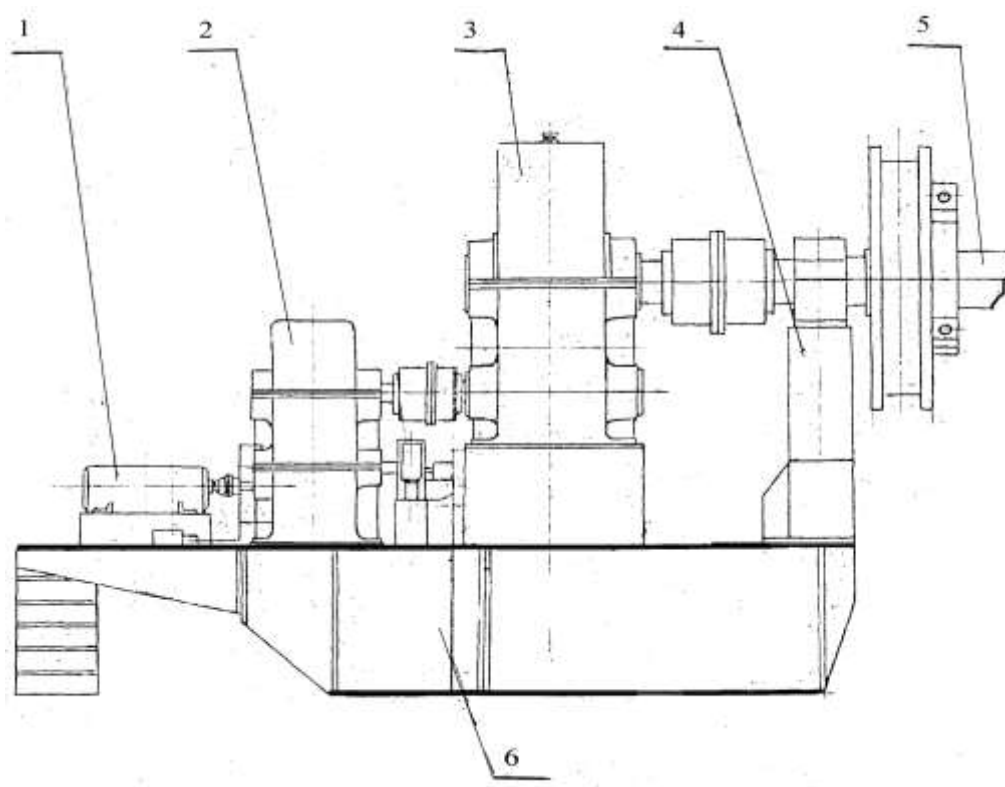


Рис. 3. Площадка привода охладителя ОП-315

На рис. 3 приняты следующие обозначения: 1-электрический двигатель, 2-редуктор специальный, 3-редуктор цилиндрический одноступенчатый, 4-стойка опорного подшипника, 5-коренной вал в сборе со звездочками и траверсами, 6-основание площадки привода.

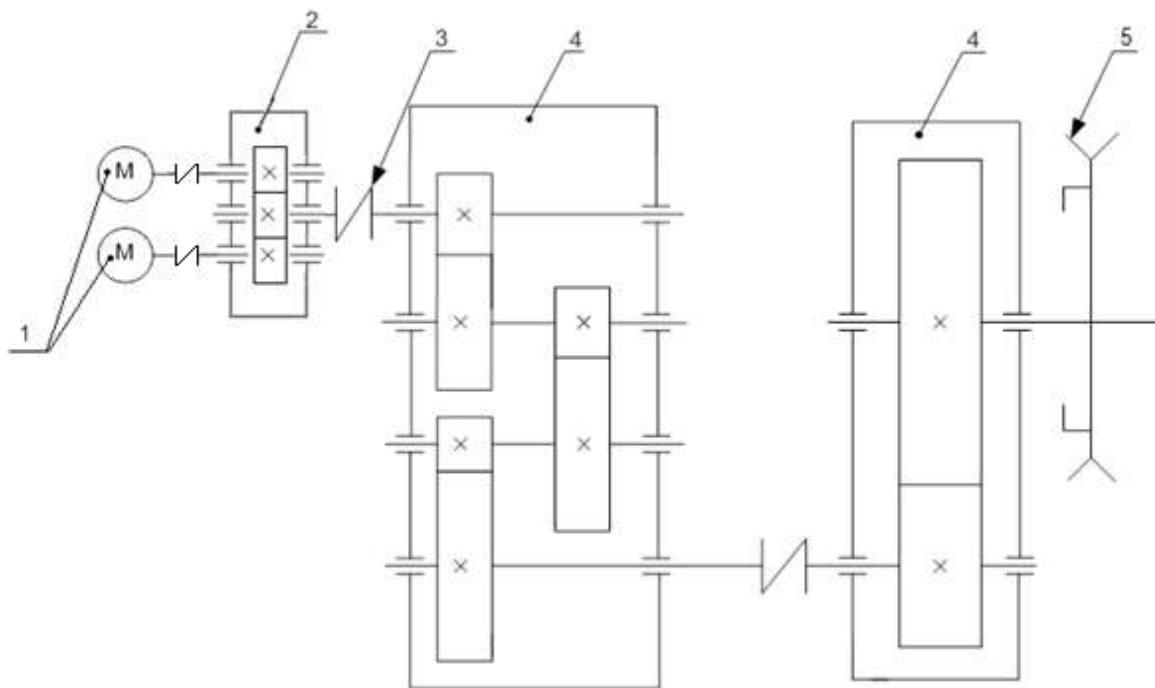


Рис. 4. Кинематическая схема привода охладителя.

Крутящий момент от двигателей - 1 через специальный редуктор - 2 посредством муфты - 3 через редукторы - 4 передается на вал с звездочкой-5 крутящей цепь охладителя. Многоступенчатый редуктор понижает скорость так, что полотно, на котором транспортируется агломерат, движется со скоростью 1 ... 3 м/мин.

2 ПРОЕКТНО-РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Выбор электрооборудования и расчет параметров силовой цепи

Выбор электрооборудования силовой цепи электропривода, расчет параметров и характеристик его элементов производим исходя из требований технического задания, с учетом характера и условий работы, а также параметров питающей сети ($U_C=380$ В, $f_C=50$ Гц).

По технологическим условиям для непрерывного качественного охлаждения агломерата, электропривод охладителя должен работать в длительном режиме, т.е. ПВ=100%. Правильный выбор мощности электродвигателя имеет большое значение, так как этим обеспечиваются минимальные затраты и потери электроэнергии при эксплуатации, высокая производительность и надежность работы механизма. Занижение мощности электродвигателя вызывает его перегрев при работе, преждевременный выход из строя, повышенную стоимость ремонта. Завышение мощности ухудшает энергетические показатели электродвигателя. При этом снижается коэффициент полезного действия, увеличиваются капитальные затраты и эксплуатационные расходы. Выбор мощности двигателя должен быть произведен в полном соответствии с нагрузкой на валу и режимом работы.

Расчет мощности привода охладителя, будем вести по методике изложенной в документации технического отдела «ОАО ЗСМК» АИП и [2].

Два двигателя нужны для того чтобы если один двигатель выйдет из строя то второй сможет доработать. При работе на один редуктор двигатели не сильно загружены

Мощность двух двигателей для привода охладителя определим по формуле [1]:

Рассчитаем мощность двух двигателей:

$$P_{\Sigma} = \frac{K \cdot Q \cdot q}{1000 \cdot \eta} \cdot (c \cdot L + H) = \frac{1.3 \cdot 740 \cdot 9.81}{1000 \cdot 0.86} \cdot (0.15 \cdot 90 + 24.8) = 109.132 \text{ кВт}$$

где: К – 1,3 – коэффициент, учитывающий увеличение мощности в динамическом режиме.

Q – производительность (кг/с);

q – ускорение свободного падения ($q=9,81 \text{ м/с}^2$);

c – опытный коэффициент;

L – длина конвейера (м);

H – высота подъема транспортируемого груза (м);

η – коэффициент полезного действия двигателя ($\eta = 0,92$).

Определим высоту подъема транспортируемого груза:

$$H = L \cdot \sin \alpha ,$$

где α – угол наклона охладителя, $\alpha = 16^\circ$ (по данным из табл. 1)

$$H = 90 \cdot \sin 16^\circ = 24,8 \text{ м.}$$

Мощность одного двигателя :

$$P = \frac{P_{\Sigma}}{2} = \frac{109.132}{2} = 54.556 \text{ кВт}$$

Выбираем двигатель серии 2АИУ280М10. Так как электродвигатель работает в длительном режиме, то его проверка не требуется.



Рис. 5. Асинхронный двигатель 2АИУ280М10

Данные электродвигателя 2АИУ280М10:

$P_n = 55 \text{ кВт.}$ – номинальная мощность;

$U_n = 380 \text{ В.}$ – номинальное напряжение;

$n_n = 600 \text{ об/мин.}$ – номинальная скорость вращения;

$I_{д.н} = 125 \text{ А}$ – номинальный ток электродвигателя;

$J_{дв} = 5 \text{ кг/м}^2$ – момент инерции электродвигателя.

$R_1 = 0.093 \text{ Ом}$ – Активное сопротивление обмотки статора;

$R'_2 = 0.036 \text{ Ом}$ – Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя;

$\eta_n = 0,92$ – КПД двигателя.

$p = 5$ – число пар полюсов.

2.2 Расчетные параметры двигателя

Синхронная угловая частота вращения двигателя:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_{\text{лн}}}{z_p} = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 600}{30} = 62,832, \text{ рад/с}.$$

Номинальная частота и угловая скорость вращения двигателя:

$$n_{\text{дв.н}} = (1 - s_n) \cdot n_0 = (1 - 0,017) \cdot 600 = 589,8 \text{ об/мин}, \quad \omega_{\text{дв.н}} = (1 - s_n) \cdot \omega_0 = 61,764 \text{ рад/с}.$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{55 \cdot 10^3}{61,764} = 875,352 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Максимальный потребляемый ток двигателя при прямом пуске:

$$I_{\text{л макс}} = k_{i\text{дв}} \cdot I_{\text{лн}} = 5 \cdot 124,082 = 620,409 \text{ А}.$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике:

$$M_k = m_k \cdot M_{\text{дв.н}} = 2,2 \cdot 875 = 1926 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пусковой момент двигателя при прямом пуске:

$$M_{\text{дв.пуск}} = m_{\text{п}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 1,5 \cdot 875 = 1313 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2.3 Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным

Для расчета электромеханических и механических характеристик асинхронного двигателя воспользуемся его математической моделью, которая в общем случае представляется различными схемами замещения. Наиболее простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, показанная на рис. 6.

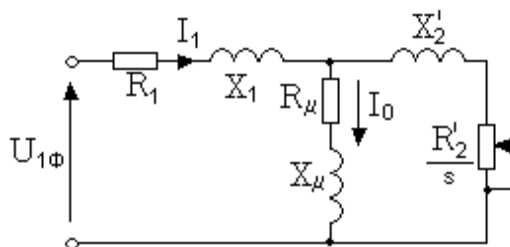


Рис. 6. Схема замещения асинхронного двигателя

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие принятой схеме замещения:

$$\overline{U_{1\phi}} - \overline{E_1} - j \cdot X_1 \cdot \overline{I_1} = 0; \quad \overline{E_1} + j \cdot X_2' \cdot \overline{I_2'} + R_2' \cdot \overline{I_2'} / s = 0; \quad \overline{I_1} + \overline{I_2'} - \overline{I_0} = 0.$$

Определим параметры Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя 2АИУ280М10 по его каталожным данным. Расчеты выполним при следующих основных допущениях:

- магнитные и механические потери в двигателе составляют 0,02 P_H ;
- активные сопротивления статорной и роторной обмоток полагаются независимыми от режима работы двигателя, т.е. эффекты вытеснения не учитываются.

Ток холостого хода двигателя

$$I_0 = \sqrt{\frac{(I_{11})^2 - \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_H)}{(1 - p^* \cdot s_H)} \right]^2}{1 - \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_H)}{(1 - p^* \cdot s_H)} \right]^2}} = 49.101, \text{ A},$$

где:

$$I_{11} = \frac{p^* \cdot P_{двн}}{3 \cdot U_{1\phi H} \cdot (\cos \phi_{p^*} \cdot \eta_{p^*})} = \frac{0.915 \cdot 55000}{3 \cdot 220 \cdot (0.72 \cdot 0.92)} = 115.112 \text{ A}$$

– ток фазы статора при частичной нагрузке;

p^* – степень загрузки;

η_{p^*} , $\cos \phi_{p^*}$ – КПД и коэффициент мощности в режиме частичной загрузки.

Приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора в номинальном режиме

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot (1 - s_{\text{н}})}{2 \cdot m_{\text{к}} \cdot P_{\text{двн}} \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_{\text{к}}} \right)} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0.017)}{2 \cdot 3 \cdot 55000 \cdot 1.04^2 \cdot \left(2.5 + \frac{1}{0.079} \right)} = 0.036, \text{ Ом},$$

где:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1\text{фн}}} = 1 + \frac{49.101}{2 \cdot 5 \cdot 124.082} = 1.04$$

– коэффициент, характеризующий соотношение $\frac{X_{\mu} + X_{1\sigma}}{X_{\mu}}$;

$$s_k = s_{\text{н}} \cdot \frac{m_{\text{к}} + \sqrt{m_{\text{к}}^2 - [1 - 2 \cdot s_{\text{н}} \cdot \beta \cdot (m_{\text{к}} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_{\text{н}} \cdot \beta \cdot (m_{\text{к}} - 1)} =$$

$$0.017 \cdot \frac{2.2 + \sqrt{2.2^2 - [1 - 2 \cdot 0.017 \cdot 2.5 \cdot (2.2 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0.017 \cdot 2.5 \cdot (2.2 - 1)} = 0.079$$

– критическое скольжение;

β – коэффициент, характеризующий соотношение активных сопротивлений статора и ротора, значение которого находится в диапазоне $0.6 \div 2.5$. Значение коэффициента β рекомендуется принимать, ориентируясь на соотношение сопротивлений $\frac{R_1'}{R_2'}$, приводимых в справочных данных для двигателей серии 4А

соответствующей мощности и синхронной скорости $s_{\text{н}}$. В общем случае для двигателей с малым значением номинального скольжения следует выбирать $\beta \geq 1$, а для двигателей с повышенным скольжением – $\beta \leq 1$.

Активное сопротивление обмотки статора в номинальном режиме

$$R_1 = R_2' \cdot \beta \cdot C_1 = 0.036 \cdot 2.5 \cdot 1.04 = 0.094, \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания в номинальном режиме:

$$X_{\text{кн}} = R_2' \cdot \gamma \cdot C_1 = 0.036 \cdot 12.37 \cdot 1.04 = 0.464, \text{ Ом},$$

где:

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_{\text{к}}} \right)^2 - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0.079} \right)^2 - 2.5^2} = 12.371$$

– коэффициент, характеризующий соотношение индуктивного сопротивления короткого замыкания и приведенного активного сопротивления ротора.

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора в номинальном режиме:

$$X_{1\sigma} = 0.42 \cdot X_{\text{кн}} = 0.42 \cdot 0.464 = 0.195, \text{ Ом} .$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{лн}}} = \frac{0.195}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.0006205, \text{ Гн} .$$

Приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора в номинальном режиме:

$$X'_{2\sigma} = 0.58 \cdot \frac{X_{\text{кн}}}{C_1} = 0.58 \cdot \frac{0.464}{1.04} = 0.259, \text{ Ом} .$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{лн}}} = \frac{0.259}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.0008243, \text{ Гн} .$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания (главное индуктивное сопротивление):

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{195.212}{49.101} = 3.976, \text{ Ом} ,$$

$$E_1 = \sqrt{(U_{\text{лфн}} \cdot \cos \phi_{\text{н}} - I_{\text{лфн}} \cdot R_1)^2 + (U_{\text{лфн}} \cdot \sin \phi_{\text{н}} - I_{\text{лфн}} \cdot X_{1\sigma})^2} =$$

где:

$$= \sqrt{(220 \cdot 0.73 - 124.082 \cdot 0.094)^2 + (220 \cdot 0.73 - 124.082 \cdot 0.195)^2} = 195.212, \text{ В}$$

– ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора (главным полем), в номинальном режиме, В.

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре:

$$L_m = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{лн}}} = \frac{3.976}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.013, \text{ Гн} .$$

Проведем проверку адекватности расчетных параметров двигателя. При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя при номинальной скорости:

$$M_{\text{эм.н}}^* = \frac{3 \cdot U_{\text{лф.н}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{н}} \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{н}}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{н}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} =$$

$$\frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0.036}{62.832 \cdot 0.017 \cdot \left[0.464^2 + \left(0.094 + \frac{0.036}{0.017} \right)^2 + \left(\frac{0.094 \cdot 0.036}{0.017 \cdot 3.9} \right)^2 \right]} = 955.908, \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{(L_m + L_{2\sigma})} \cdot \Psi_{2\text{н}} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{\text{лн}}^2 - I_0^2} =$$

$$\frac{3}{2} \cdot 5 \cdot \frac{0.013}{(0.013 + 0.0008243)} \cdot 0.842 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{124.082^2 - 49.101^2} = 997.173, \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где:

$$\Psi_{2\text{н}} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 49.101 \cdot 0.013 = 0.879, \text{ Вб}.$$

Должны выполняться условия:

$$M_{\text{дв.н}} < M_{\text{эм.н}}^* \leq 1.1 \cdot M_{\text{дв.н}}; \quad M_{\text{эм.н}}^{**} \approx M_{\text{эм.н}}^*.$$

Условия выполняются.

2.4 Функциональная схема асинхронного электропривода со скалярным управлением

Функциональная схема реализации асинхронного частотно-регулируемого электропривода со скалярным управлением без датчика скорости приведена, соответственно, на рис. 7. Основными функциональными элементами регулируемого асинхронного электропривода с частотным скалярным управлением являются:

- преобразователь частоты;
- блок управления преобразователем, включающий в себя формирователь 3-фазной системы управляющих напряжений u_{1a} , u_{1b} и u_{1c} , формирователь 6-канального ШИМ-сигнала и блок драйверов;

-
- The diagram illustrates a speed feedback control system for a frequency converter. The reference speed ω^* is compared with the actual speed ω at a summing junction. The resulting speed error signal is processed by a speed feedback loop, which includes a compensation block and a speed-to-voltage converter (Uf -characteristic). The output of this loop is compared with the voltage feedback signal U_d at another summing junction to produce the voltage error signal U^* . This error signal is then processed by a voltage correction block (U_d -корректор) to generate the reference voltage U . The reference voltage U and the frequency f (which is also the output of the speed feedback loop) are inputs to the frequency converter's control block. The frequency converter, consisting of a diode bridge rectifier and an inverter, provides the power to the motor M . The motor's current i is measured and fed back to the current compensation block (IR компенсация), which in turn provides a feedback signal to the speed feedback loop.

2.5 Особенности выбора частотно-регулируемого электропривода охладителя агломерата

Диапазон скорости электропривода охладителя агломерата невелик и может достигаться достаточно простым и наиболее широко распространенным

методом управления: вольт/частотным $U_1 / f_1 = const$. Диапазон регулирования современных асинхронных электроприводов при вольт/частотном методе управления, как правило, составляет 1:40, что является вполне достаточным для электропривода охладителя агломерата. Поддержание постоянства отношения $U_1 / f_1 = const$ обеспечивает постоянство потокосцепления и критического момента двигателя во всем диапазоне регулирования скорости изменением частоты. Однако это справедливо лишь при пренебрежимо малом активном сопротивлении обмотки статора, практически же при уменьшении частоты уменьшается и максимальный момент двигателя. В простейшем случае для повышения момента двигателя на малых скоростях вращения в преобразователях предусмотрена функция повышения начального значения выходного напряжения, применяются модули *Ud*-коррекции и *IR*-компенсации. В результате достигается компенсация уменьшения момента двигателя для нагрузок с постоянным моментом сопротивления или достигается увеличение пускового момента двигателя для нагрузок с высоким моментом трогания. Из-за ограниченной жесткости рабочей части механических характеристик асинхронных двигателей диапазон регулирования скорости в разомкнуты системах частотно-регулируемого асинхронного электропривода не может быть более 1:10.

Для привода охладителя агломерата выбираем преобразователь ABB ACS550-01-125A-4. Наименование преобразователя содержит следующие обозначения:

- ACS550 – серия изделия (возможность создать полностью автоматизированную систему управления)
- 01 – настенный монтаж
- 125A – ток в номинальном режиме 125 А
- 4 – диапазон напряжений питания 380 - 480 В

Основные параметры, которые предоставляет завод-производитель представлены в табл. 2.

Табл. 2- Основные параметры

Нормальный режим			Тяжёлый режим		
P_n , кВт	P_n , л.с.	I_n , А	$P_{тяж}$, кВт	$P_{тяж}$, л.с.	$I_{тяж}$, А
55	100	125	45	75	96

P_n , кВт – номинальная мощность двигателя при 400 В, нормальный режим,

P_n , л.с. – номинальная мощность двигателя при 460 В, нормальный режим,

I_n , А – номинальный ток двигателя, нормальный режим,

$P_{тяж}$, кВт – номинальная мощность двигателя при 400 В, тяжёлый режим,

$P_{тяж}$, л.с. – номинальная мощность двигателя при 460 В, тяжёлый режим,

$I_{тяж}$, А – номинальный ток двигателя, тяжёлый режим.

Нормальный и тяжёлый режимы работы зависят от механизма и условий эксплуатации. Большинство насосов, вентиляторов и конвейеров соответствует «Нормальный режим». «Тяжёлый режим» предназначен для случаев с высокими требованиями по перегрузкам.



Рис. 8. Внешний вид преобразователя ACS550-01-125A-4

2.6 Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода

В простейшем случае без учета ШИМ инвертор представляет собой линейный усилитель с чистым запаздыванием на величину периода широтно-импульсной модуляции $T_{\text{ШИМ}}$:

$$T_{\text{и}} = T_{\text{ШИМ}} = \frac{1}{f_{\text{ШИМ}}} = \frac{1}{10^4} = 1 \cdot 10^{-4}, \text{ с},$$

где $f_{\text{ШИМ}}$ – несущая частота инвертора (частота ШИМ), Гц.

Максимальные значения действующего и амплитудного фазного напряжения двигателя принимаются, соответственно, равными:

$$U_{1\text{фн}} = 220 \text{ В}; \quad U_{1\text{фм}} = \sqrt{2} \cdot U_{1\text{фн}} = \sqrt{2} \cdot 220 = 311.1 \text{ В}.$$

С учетом ШИМ напряжения инвертора и при соединении обмоток статора двигателя в звезду параметры преобразователя выбираются в соответствии с приведенными ниже выражениями.

$U_{d0} = 1.35 \cdot U_{\text{с}}$ – напряжение звена постоянного тока преобразователя, В,
где:

$U_{\text{с}}$ – линейное напряжение источника питания преобразователя, В;

$\gamma_{\text{макс}} < 1$ – максимальное значение коэффициента относительной продолжительности включения ключей инвертора (рекомендуется принять $\gamma_{\text{макс}} = 0.95$), о.е.

Условие согласования напряжения преобразователя и двигателя:

$$U_{d0} \geq \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{1\text{н}}}{\gamma_{\text{макс}}}, \text{ В}.$$

Коэффициент усиления инвертора:

$$k_{\text{и}} = \frac{U_{d0}}{\sqrt{3}}.$$

Условия выбора преобразователя по напряжению и току:

$$U_{\text{и.н}} \geq \sqrt{3} \cdot U_{1\text{н}}; \quad I_{\text{и.н}} \geq I_{1\text{н}}; \quad I_{\text{и.макс}} \geq I_{1\text{макс}}.$$

2.7 Расчет электромеханических и механических характеристик при частотном управлении

Естественная механическая характеристика $M(s)$ электродвигателя для частоты $f_{1н} = 50$ Гц рассчитывается по выражению:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1фн}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu} \right)^2 \right]},$$

где s – скольжение двигателя, принимаем в двигательном режиме от 0 до 1.

Далее скорость вращения вала двигателя вычисляем по выражению:

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s).$$

Механические характеристики $M(s)$ электродвигателя для частот: $f = 5, 10, 20, 30, 40$ Гц рассчитываем по выражению:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_1^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[(f^* \cdot X_{кн})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot f^*} \right)^2 \right]}.$$

где $f^* = f/50$ – учет изменения индуктивных сопротивлений;

$U_1 = 4,4 \cdot f$ – изменение напряжение при скалярном законе управления $U/f = \text{const}$.

На рис. 9 представлено семейство механических характеристик.

Электромеханические характеристики электродвигателя рассчитываются для таких же частот по выражению (ток в цепи ротора):

$$I_2'(s) = \frac{U_{1фн}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + (f^* \cdot X_{кн})^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot f^*} \right)^2}}.$$

Изменения скольжения s , напряжения питания U_1 , частоты сети f , относительной частоты f^* производим таким же образом как и для построения механических характеристик. По результатам расчета строятся электромеханические характеристики, представленные на рис. 10.

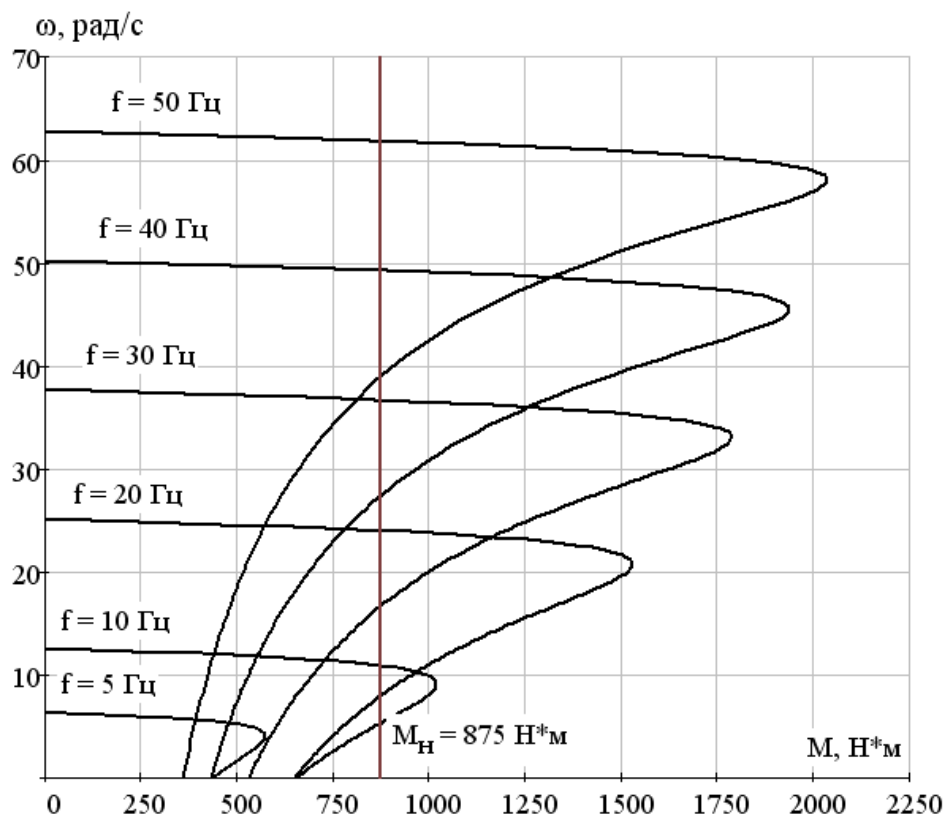


Рис. 9. Механические характеристики асинхронного двигателя

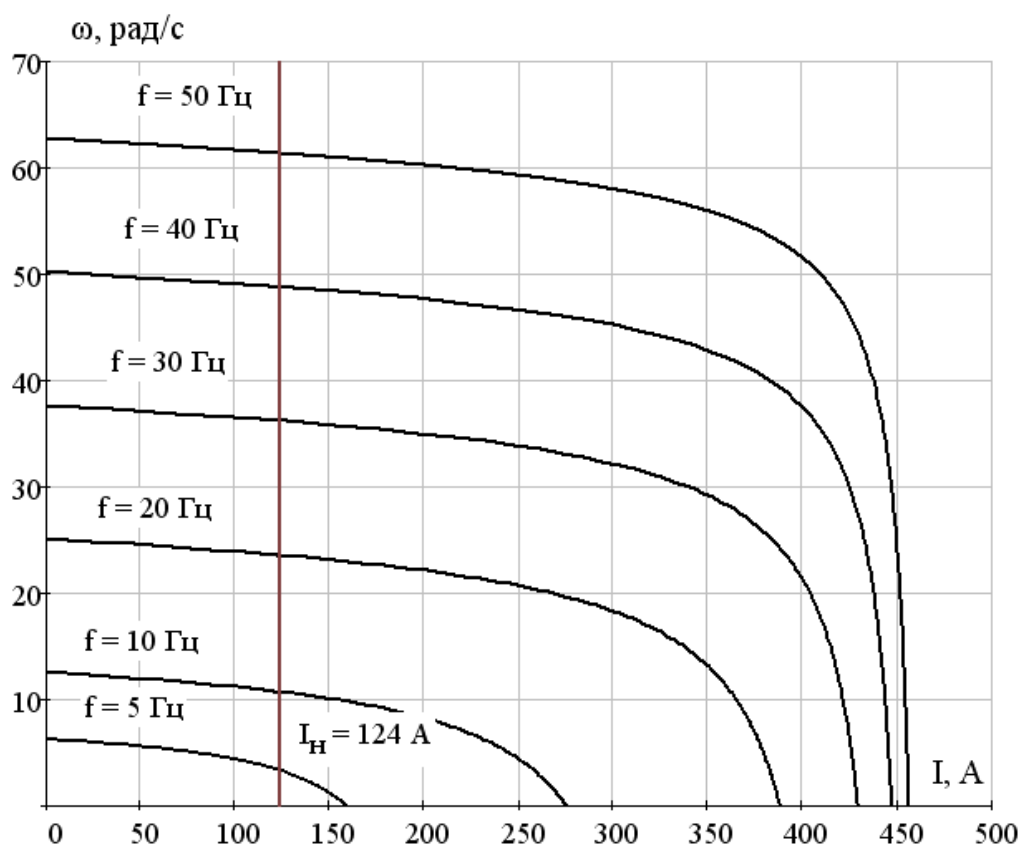


Рис. 10. Электромеханические характеристики асинхронного двигателя

2.8 Расчет электромеханических и механических характеристик при частотном управлении

Из-за технологического разброса параметров двигателей при их изготовлении характеристики могут отличаться. Рассмотрим особенности работы двух двигателей со схожими параметрами на одну общую нагрузку (на один вал). Для этого изменим параметры двигателя 2АИУ280М10. Увеличим активные сопротивления статора и ротора на 30 %. Полученные механические характеристики двух двигателей представлены на рис. 11 а). На графике добавлена характеристика нагрузки – статический номинальный момент M_n .

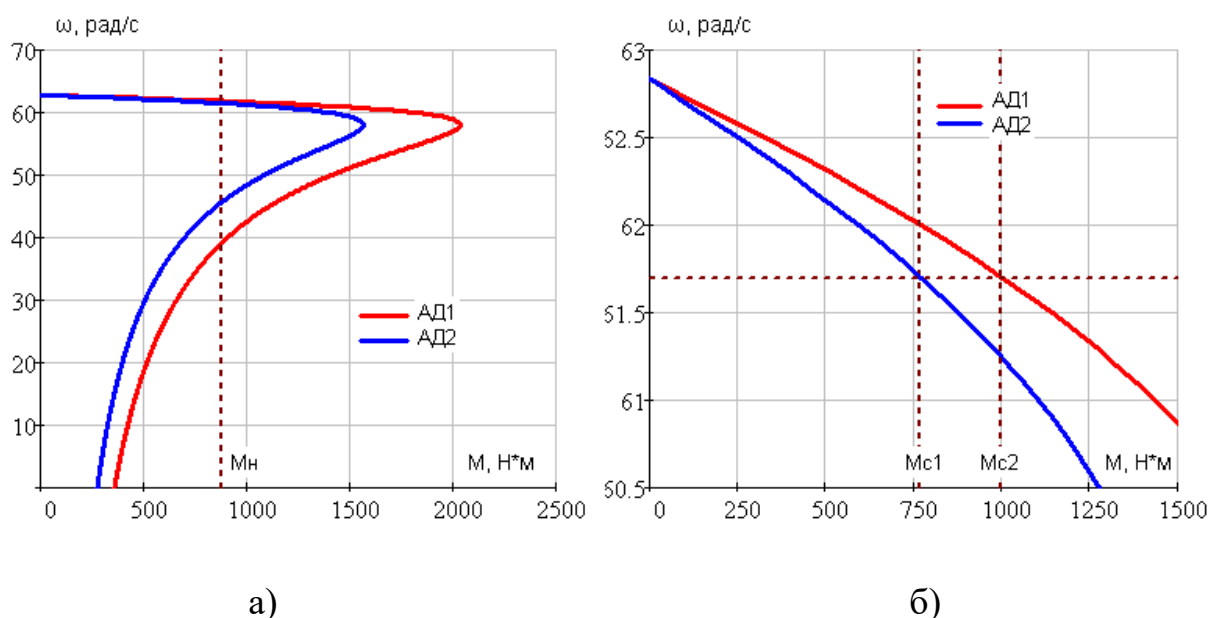


Рис. 11. Статические механические характеристики $M = f(\omega)$ двух двигателей

На рис. 11 б) представлены те же характеристики двух двигателей в увеличенном масштабе. Т.к. скорость двигателей будет одинаковая (механически жестко связаны), то значит моменты и токи двигателей будут разные M_{c1} и M_{c2} , то есть один двигатель будет перегружен, а второй не догружен. Перегрузка двигателя может повлечь за собой перегревы с дальнейшим выходом его из строя. Недогрузка также является отрицательным фактором, с энергетической точки зрения.

Для выравнивания нагрузки применяем IR-компенсацию и компенсацию скольжения. Компенсацию скольжения $K_{кс}$ производим путем повышения частоты напряжения питания у одного двигателя, а IR-компенсацию с помощью коэффициентов положительной обратной связи $K_{км}$. На рис. 12. представлены статические механические характеристики с введенными коэффициентами. Как видно из рис. 12 б) в увеличенном масштабе при номинальной нагрузке двигатели работают с одинаковыми моментами $M_{с1} = M_{с2}$. Это означает, что произошло выравнивание нагрузки.

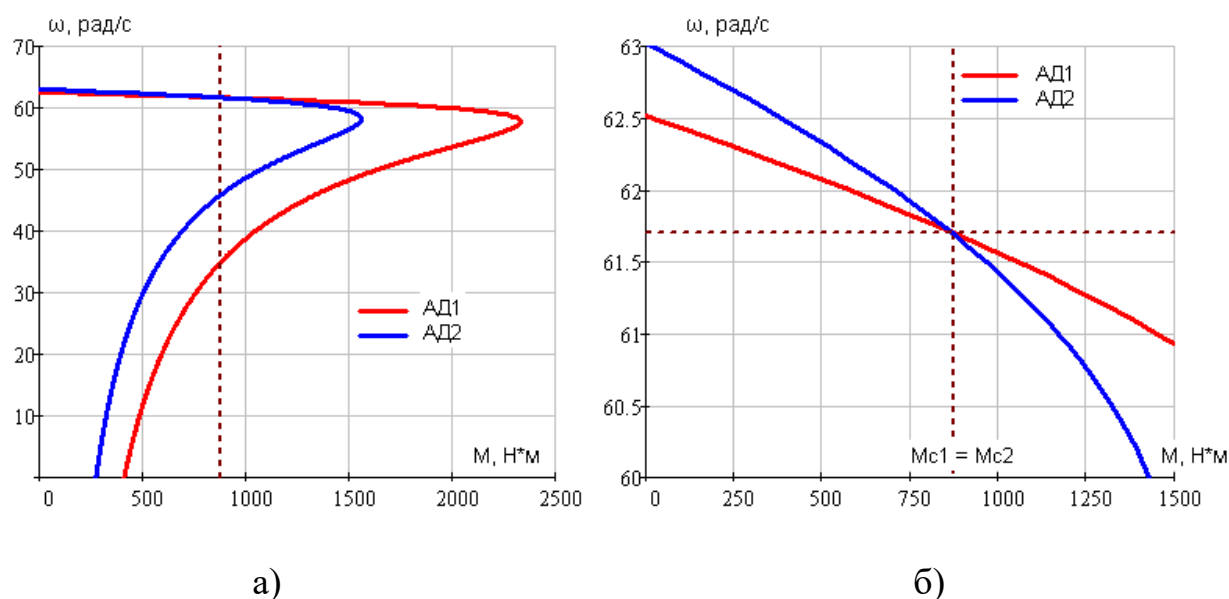


Рис. 12. Статические механические характеристики $M = f(\omega)$ двигателей с введенными компенсациями момента и скольжения

3 ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЧАСТОТНО–РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

3.1 Функциональная схема электропривода охладителя агломерата

Функциональная схема частотно–регулируемого асинхронного электропривода охладителя агломерата со скалярным управлением приведена на рис. 13. В состав электропривода входят: датчик интенсивности скорости на входе, 2 преобразователя частоты ACS550-01-125A-4 асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором 2АИУ280М10. Настраиваемыми параметрами электропривода являются: тип и параметры датчика интенсивности скорости (ЗИС), значение частоты преобразователя f закон регулирования U_1/f_1 с компенсацией скольжения и момента.

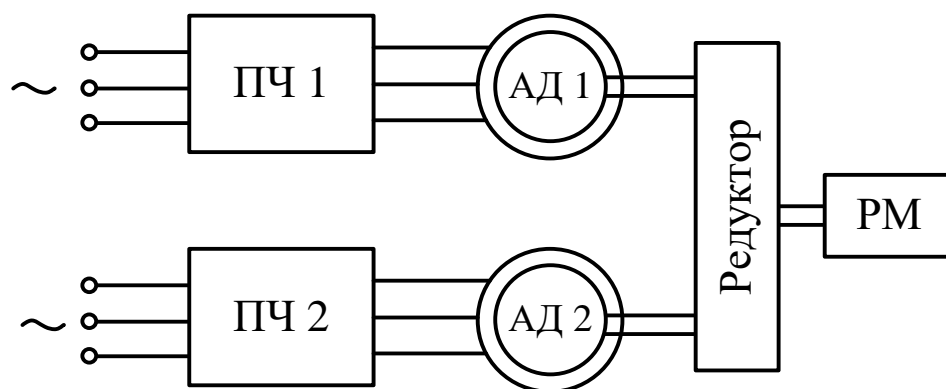


Рис. 13. Функциональная схема частотно–регулируемого асинхронного электропривода охладителя агломерата со скалярным управлением

3.2 Математическое описание и структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат α, β

Система уравнений, описывающих работу асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат α, β , имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dI_{1\alpha}}{dt} = \frac{1}{\sigma \cdot L_1} \cdot U_{1\alpha} - \frac{R_2}{\sigma \cdot L_1} \cdot I_{1\alpha} + \frac{R_2' \cdot L_m}{\sigma \cdot L_1 \cdot L_2^2} \cdot \Psi_{2\alpha} + \\ \quad + \frac{L_m}{\sigma \cdot L_1 \cdot L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2\beta}; \\ \frac{dI_{1\beta}}{dt} = \frac{1}{\sigma \cdot L_1} \cdot U_{1\beta} - \frac{R_2}{\sigma \cdot L_1} \cdot I_{1\beta} + \frac{R_2' \cdot L_m}{\sigma \cdot L_1 \cdot L_2^2} \cdot \Psi_{2\beta} - \\ \quad - \frac{L_m}{\sigma \cdot L_1 \cdot L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2\alpha}; \\ \frac{d\Psi_{2\alpha}}{dt} = -\frac{R_2'}{L_2} \cdot \Psi_{2\alpha} + \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2} \cdot I_{1\alpha} - z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2\beta}; \\ \frac{d\Psi_{2\beta}}{dt} = -\frac{R_2'}{L_2} \cdot \Psi_{2\beta} + \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2} \cdot I_{1\beta} + z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2\alpha}; \\ M_{эм} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot (\Psi_{2\alpha} \cdot I_{1\beta} - \Psi_{2\beta} \cdot I_{1\alpha}); \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} \cdot (M_{эм} - M_c) \end{array} \right. \quad (1)$$

где: $U_{1\alpha} = U_{1m} \cdot \sin(2\pi \cdot f_1) = \sqrt{2} \cdot U_1 \cdot \sin(2\pi \cdot f_1)$ – синусоидальная по форме составляющая напряжения статора по оси α ортогональной неподвижной системы координат α, β, B ;

$U_{1\beta} = U_{1m} \cdot \cos(2\pi \cdot f_1) = \sqrt{2} \cdot U_1 \cdot \cos(2\pi \cdot f_1)$ – косинусоидальная по форме составляющая напряжения статора по оси β системы координат α, β, B ;

$U_{1m} = \sqrt{2} \cdot U_1$ – амплитудное значение фазного напряжения статорной обмотки, В;

U_1 – действующее значение фазного напряжения статорной обмотки, В;

f_1 – частота напряжения статора, Гц;

$I_{1\alpha}, I_{1\beta}$ – составляющие тока статора в системе координат α, β, A ;

$\Psi_{2\alpha}, \Psi_{2\beta}$ – составляющие потокоцепления ротора в системе координат α, β , Вб;

$M_{эм}$ – электромагнитный момент двигателя, Н · м ;

M_c – момент статического сопротивления на валу двигателя, включая собственный момент трения двигателя, Н · м ;

$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2}$ – коэффициент рассеяния;

J – момент инерции двигателя, кг · м².

В операторной форме записи система уравнений (1) принимает вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{1\alpha} = R_3 \cdot (T_3 \cdot p + 1) \cdot I_{1\alpha} - \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2\alpha} - \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2\beta}; \\ U_{1\beta} = R_3 \cdot (T_3 \cdot p + 1) \cdot I_{1\beta} - \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2\beta} + \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2\alpha}; \\ 0 = (T_2 \cdot p + 1) \cdot \Psi_{2\alpha} - L_m \cdot I_{1\alpha} - \frac{L_2}{R_2'} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2\beta}; \\ 0 = (T_2 \cdot p + 1) \cdot \Psi_{2\beta} - L_m \cdot I_{1\beta} + \frac{L_2}{R_2'} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2\alpha}; \\ M_{эм} - \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot (\Psi_{2\alpha} \cdot I_{1\beta} - \Psi_{2\beta} \cdot I_{1\alpha}); \\ \omega = \frac{1}{J \cdot p} \cdot (M_{эм} - M_c), \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\text{где } R_3 = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_m^2}{L_2^2}; \quad T_3 = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_3}; \quad T_2 = \frac{L_2}{R_2'}.$$

Уравнениям системы (2) соответствует структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат статора α, β , приведенная на рис. 14.

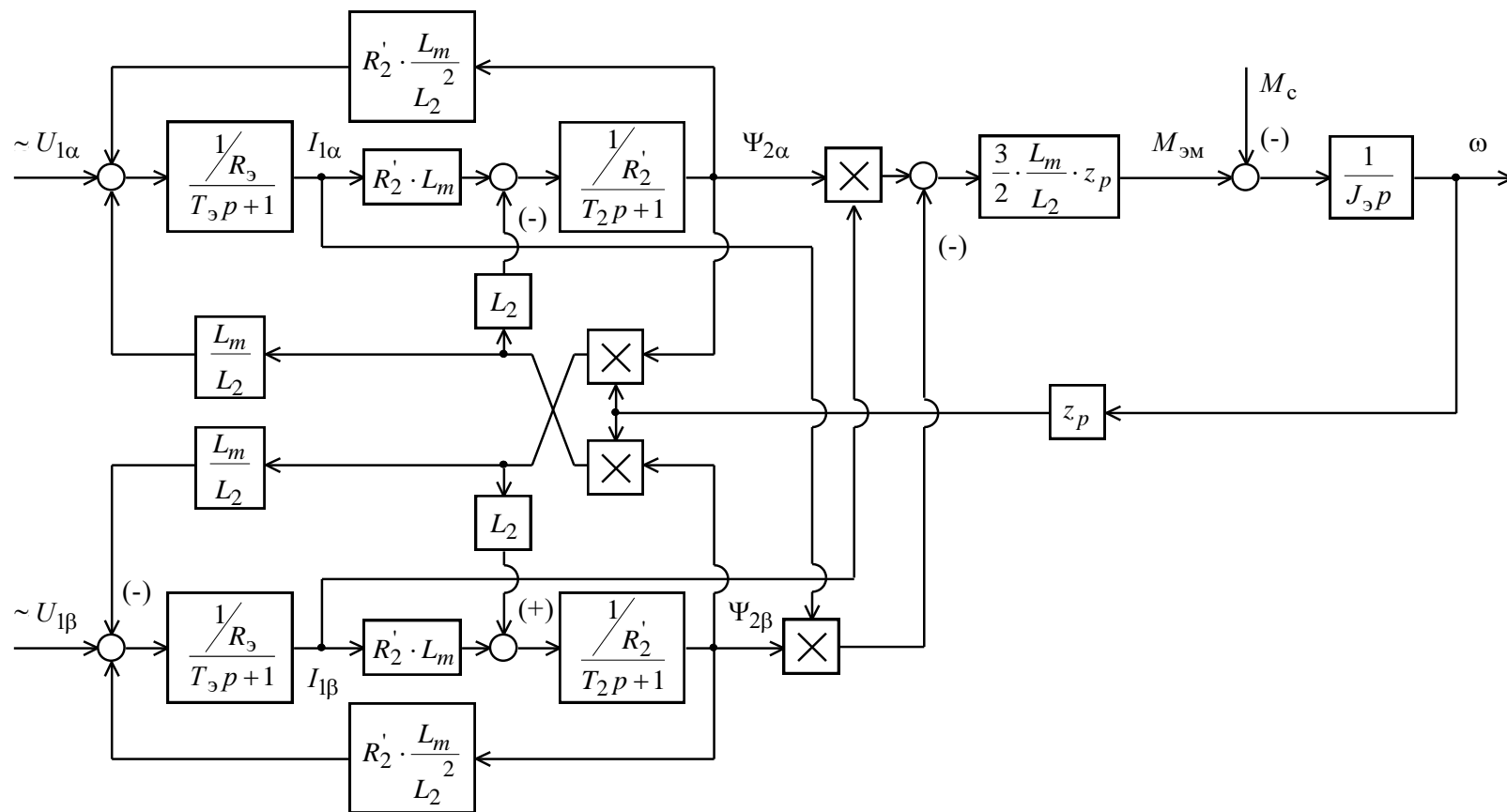


Рис. 14. Структурная схема асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат статора α , β

Параметры звеньев структурной схемы двигателя

Эквивалентные индуктивности обмоток:

– статора

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 6.205 \cdot 10^{-4} + 0.013 = 0.013, \text{ Гн};$$

– ротора, приведенная к цепи статора,

$$L'_2 = L'_{2\sigma} + L_m = 8.24 \cdot 10^{-4} + 0.013 = 0.013, \text{ Гн}.$$

Коэффициент рассеяния магнитного поля

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L'_2} = 1 - \frac{0.013^2}{6.205 \cdot 10^{-4} \cdot 8.243 \cdot 10^{-4}} = 0.105.$$

Эквивалентное активное сопротивление цепи статора (без учета сопротивления соединительных проводов)

$$R_{1\sigma} = R_1 + R'_2 \cdot \frac{L_m^2}{L'^2_2} = 0.096 + 0.036 \cdot \frac{0.013^2}{8.243 \cdot 10^{-4}} = 0.126, \text{ Ом}.$$

Электромагнитные постоянные времени цепи статора и ротора:

$$T_{1\sigma} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{1\sigma}} = \frac{0.105 \cdot 6.205 \cdot 10^{-4}}{0.096} = 0.011, \text{ с}; \quad T_2 = \frac{L'_2}{R'_2} = \frac{8.243 \cdot 10^{-4}}{0.036} = 0.373, \text{ с}.$$

Для исследования процессов при частотном регулировании в самом электродвигателе и далее в системе регулируемого электропривода охладителя агломерата используем метод имитационного моделирования и в качестве средства моделирования электромеханических систем примем программу *MATLABR2008b*.

3.3 Имитационная модель двухфазного двигателя

На основании структурной схемы рис. 14 в программе *MATLAB* разработана имитационная модель двухфазного асинхронного электродвигателя с реактивной нагрузкой в неподвижной системе координат статора α, β (рис. 15), которая в дальнейшем используется в виде суперблока – двигатель (рис. 16).

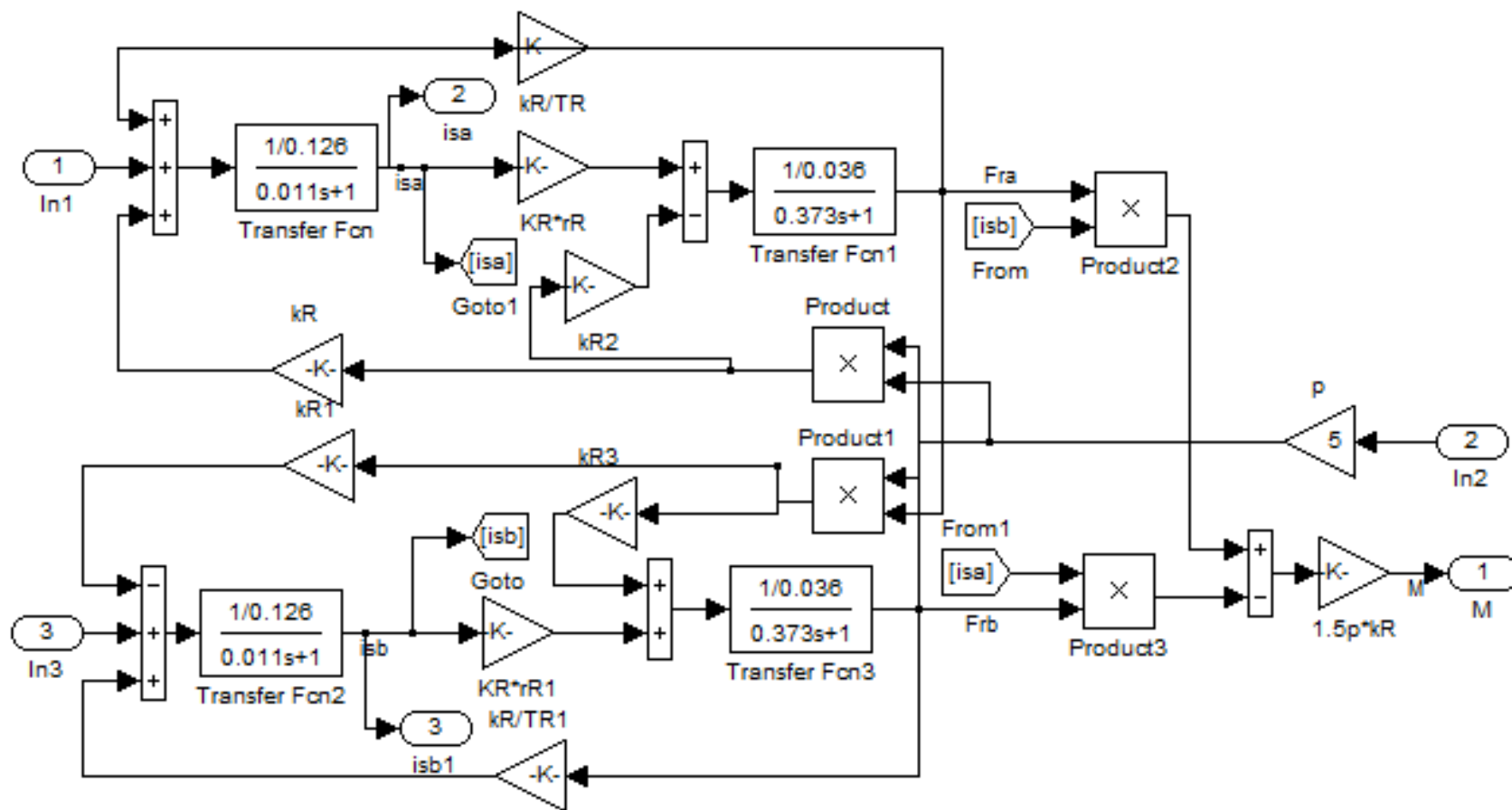


Рис. 15. Схема набора имитационной модели двухфазного асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат статора α, β

3.4 Имитационная модель силового канала электропривода

Схема набора имитационной модели силового канала электропривода с двухфазным асинхронным двигателем и реактивной нагрузкой приведена на рис. 16. На схеме суперблоком – двигатель представлен асинхронный электродвигатель, суперблоком – ПЧ – преобразователь частоты, а суперблоком – ЗИС – задатчик интенсивности скорости.

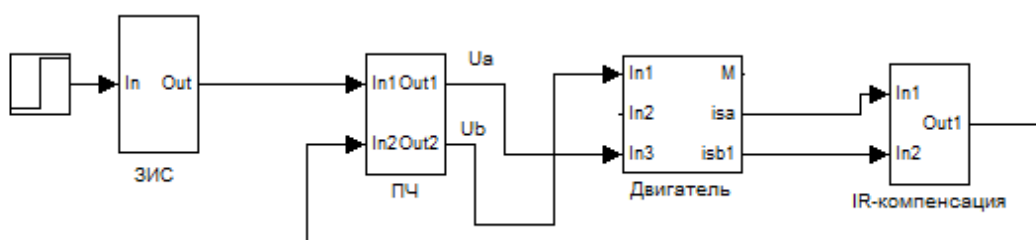


Рис. 16. Схема набора имитационной модели силового канала электропривода

Схема набора имитационной модели преобразователя частоты приведена на рис. 17.

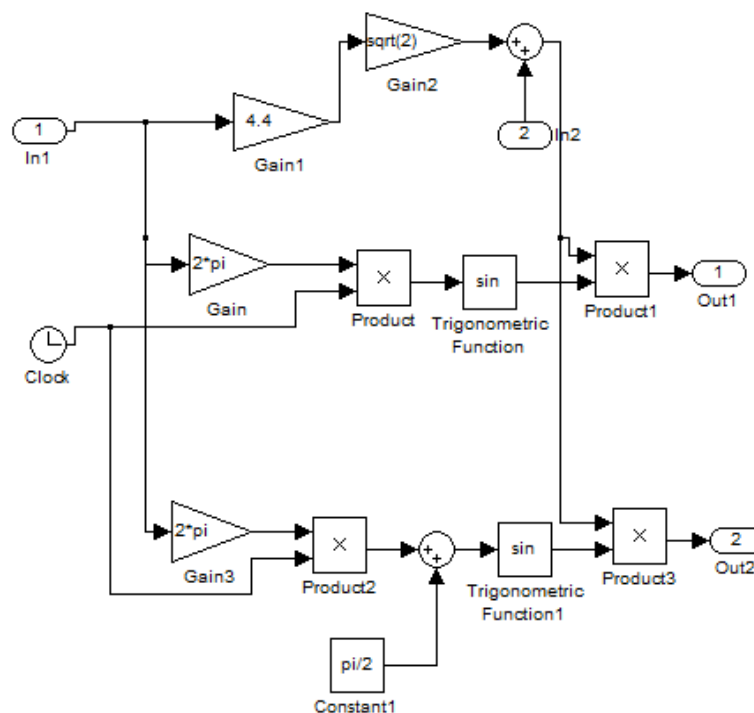


Рис. 17. Схема имитационной модели преобразователя частоты

3.5 Выбор типа датчика интенсивности и его параметров

Ограничение момента двигателя в пусковых режимах может быть достигнуто в разомкнутых системах электропривода применением датчика интенсивности скорости во входной цепи управления электропривода. Фактически установка линейного датчика скорости обеспечивает постоянное значение темпа нарастания (спадания при торможении) скорости, т.е. постоянное ускорение (замедление) привода, что достигается поддержанием постоянного значения динамического момента электропривода. При этом электромагнитный момент электродвигателя и его максимальное значение зависят от значения момента нагрузки.

Поскольку в системах электропривода с датчиком скорости на входе поддерживается постоянное значение динамического момента, тогда значение максимального момента, развиваемого двигателем, будет зависеть от момента нагрузки. Поэтому при больших нагрузках на валу питателя момент электродвигателя может достигать значения критического момента, а при стопорении механизма электродвигатель остановится с моментом на валу, равным пусковому моменту механической характеристики для заданной частоты питающего напряжения. В обоих случаях ток инвертора превысит ток отключения и произойдёт аварийное отключение привода.

При пуске разомкнутых частотно-регулируемых асинхронных электроприводов производится первоначальный прямой пуск двигателя на минимальную частоту $f_{\text{и мин}}$, а затем по окончании переходного процесса, когда потокосцепления достигнут установившихся значений, осуществляется дальнейший разгон привода от датчика интенсивности до значения заданной скорости. Был выбран датчик интенсивности линейной характеристикой (рис. 18).

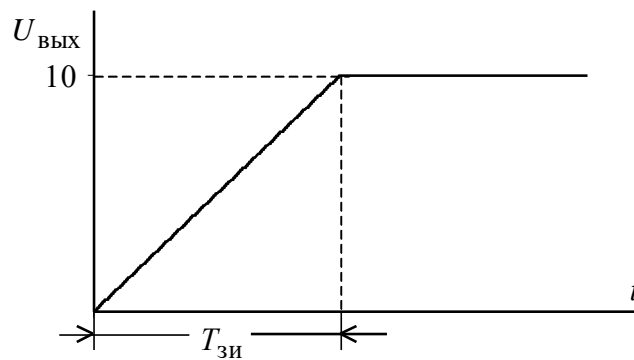


Рис. 18. Временная характеристика линейного задатчика интенсивности

Схема набора имитационной модели задатчика интенсивности скорости приведена на рис. 19.

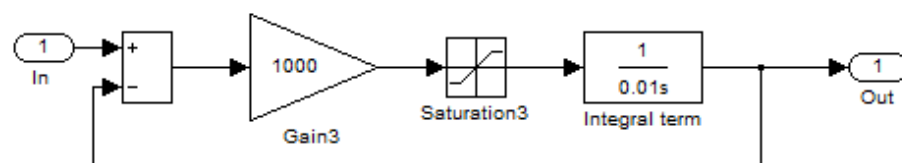


Рис. 19. Схема набора имитационной модели задатчика интенсивности скорости с линейного характеристикой

Переходные процессы в электроприводе с линейным задатчиком интенсивности подтвердили существенное уменьшение колебательности момента двигателя в пуско-тормозных режимах работы, что и определило окончательный выбор задатчик интенсивности линейной характеристикой.

Суперблок «Инерционная масса» содержит в себе имитационную модель одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера – представлена на рис. 20.

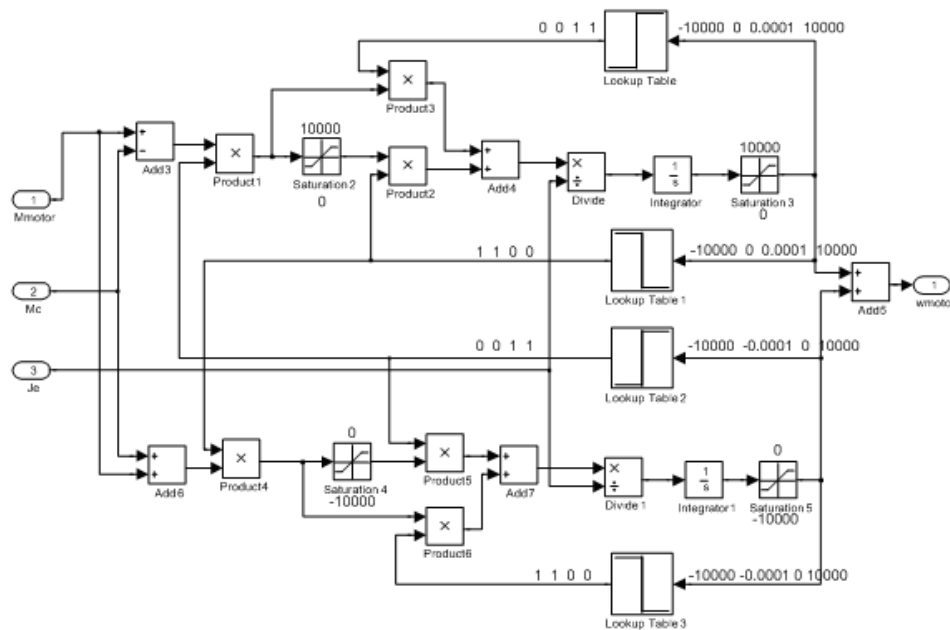


Рис. 20. Имитационная модель одномассовой механической системы.

3.6 Имитационные исследования электропривода охладителя агломерата

Цель имитационных исследований электропривода охладителя агломерата заключалась в проверке работоспособности электропривода во всех основных технологических режимах работы:

- пуск электропривода;
- регулирование скорости электропривода;
- работа электропривода с компенсацией скольжения и момента и без компенсаций;
- выравнивание нагрузки.

Имитационная модель двухдвигательного привода конвейера показана на рис. 21. Она состоит из двух приводов, каждый из которых состоит из блоков: задатчик интенсивности, частное регулирование с алгоритмом управления, асинхронный двигатель, расчет компенсаций скольжения и момента, а также общий блок, отвечающий за механическую часть.

На рис. 22 представлены динамические характеристики скорости, моментов и токов двух двигателей без компенсации скольжения и момента. На

первом этапе происходит пуск двигателей, а затем в момент времени 0,8 с происходит наброс номинальной нагрузки. После пуска на холостом ходу $M_1 = M_2 = 0$ Н·м, нагрузка отсутствует. А после наброса нагрузки $M_1 = 1000$ Н·м, $M_2 = 750$ Н·м. Вследствие естественного выравнивания нагрузки, моменты и токи различные.

Для выравнивания нагрузки введем компенсации скольжения и момента. После корректировки коэффициентов получим характеристики изображенные на рис. 23. Как следует из графиков переходных процессов после наброса нагрузки (0,8 с) моменты выравниваются $M_1 = M_2 = 875$ Н·м. А до наброса нагрузки, т.е. на холостом ходу моменты различные. Причем двигатель АД1 работает в режиме рекуперативного торможения, а АД2 в двигательном режиме. Это подтверждает необходимость изменения коэффициентов компенсаций в процессе работы электропривода.

Если запомнить настроечные коэффициенты для номинальной нагрузки и применить их в нужный момент времени, то получим графики переходных процессов, изображенных на рис. 24. Как следует из графиков моменты $M_1 = M_2$ и токи $I_1 = I_2$ выровнены и до и после наброса нагрузки. Это достигается тем, что при холостом ходе не используются обратные связи, а при набросе нагрузки, включаем компенсации момента и скольжения с заранее установленными коэффициентами. Недостатком данного алгоритма является сильный бросок тока и момента при введении компенсаций.

В процессе работы электропривода нагрузка может меняться в зависимости от технологического процесса, особенно в конвейерных механизмах. Поэтому проведя анализ переходных процессов, полученных на имитационной модели можно выработать рекомендации по использованию алгоритма выравнивания нагрузки:

1. Необходимо подстраивать коэффициенты компенсации момента и скольжения в процессе эксплуатации электропривода охладителя агломерата.
2. Подстройка коэффициентов должна производиться в зависимости от нагрузки двигателя. Информацию о текущей нагрузке удобнее определять путем

измерения токов статора асинхронных двигателей. И по разности токов определять величину компенсации момента и скольжения.

3. Изменения коэффициентов, т.е. изменения амплитуды и частоты напряжения на выходе преобразователя частоты необходимо изменять плавно, для исключения сильных бросков тока. Быстродействие в данном случае не является главным критерием.

4. Алгоритм расчета коэффициентов обратных связей должен учитывать (исключать) такие переходные процессы как пуск, останов и реверс.

Полученные результаты имитационных исследований подтверждают способность частотно-регулируемого электропривода конвейера обеспечить технические требования по диапазону регулирования скорости и по перегрузочной способности.

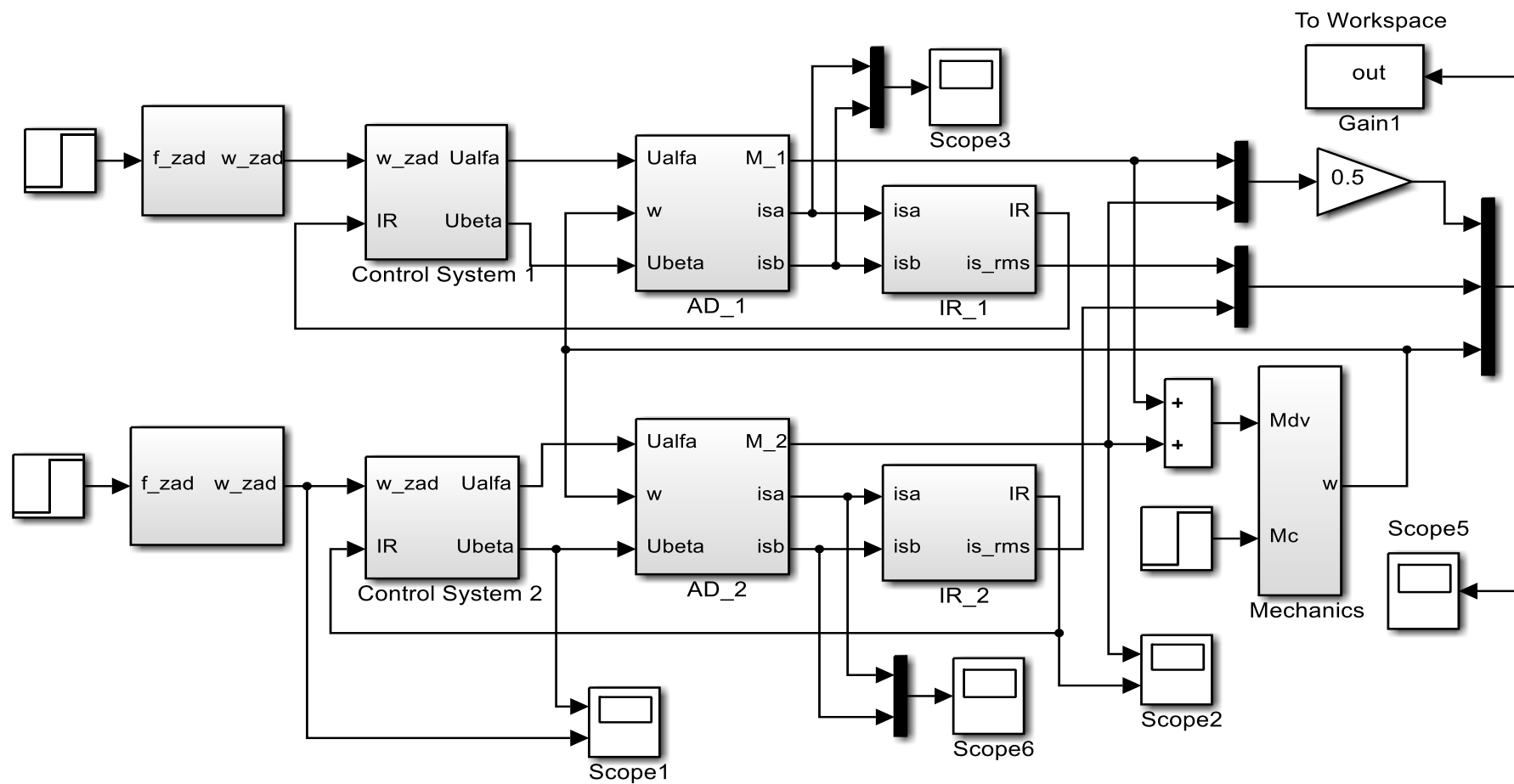


Рис. 21. Имитационная модель частотно-регулируемого электропривода конвейера без груза с задатчиком интенсивности скорости

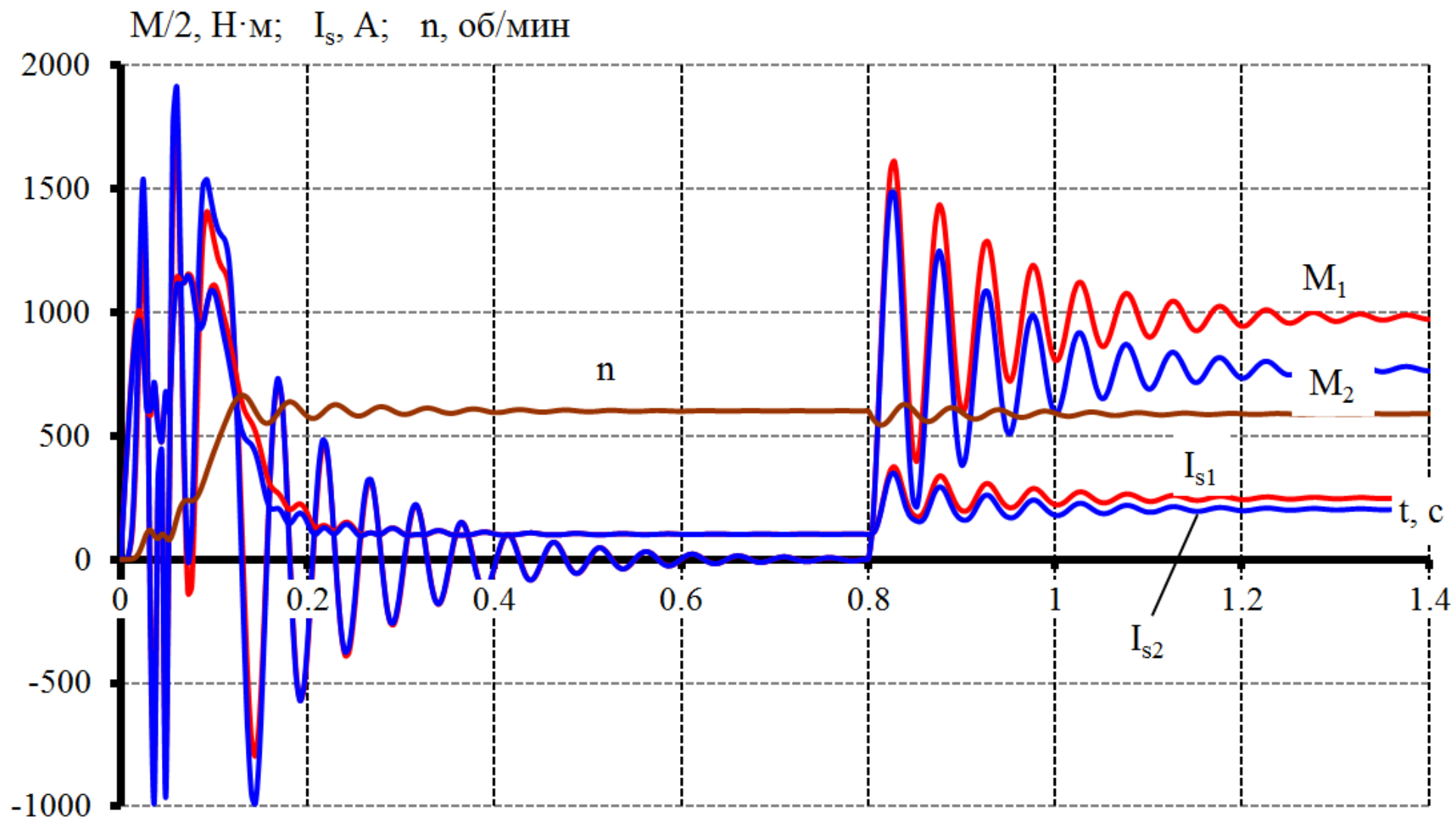


Рис. 22. Динамические характеристики скорости, моментов и токов двигателей
без компенсации скольжения и момента

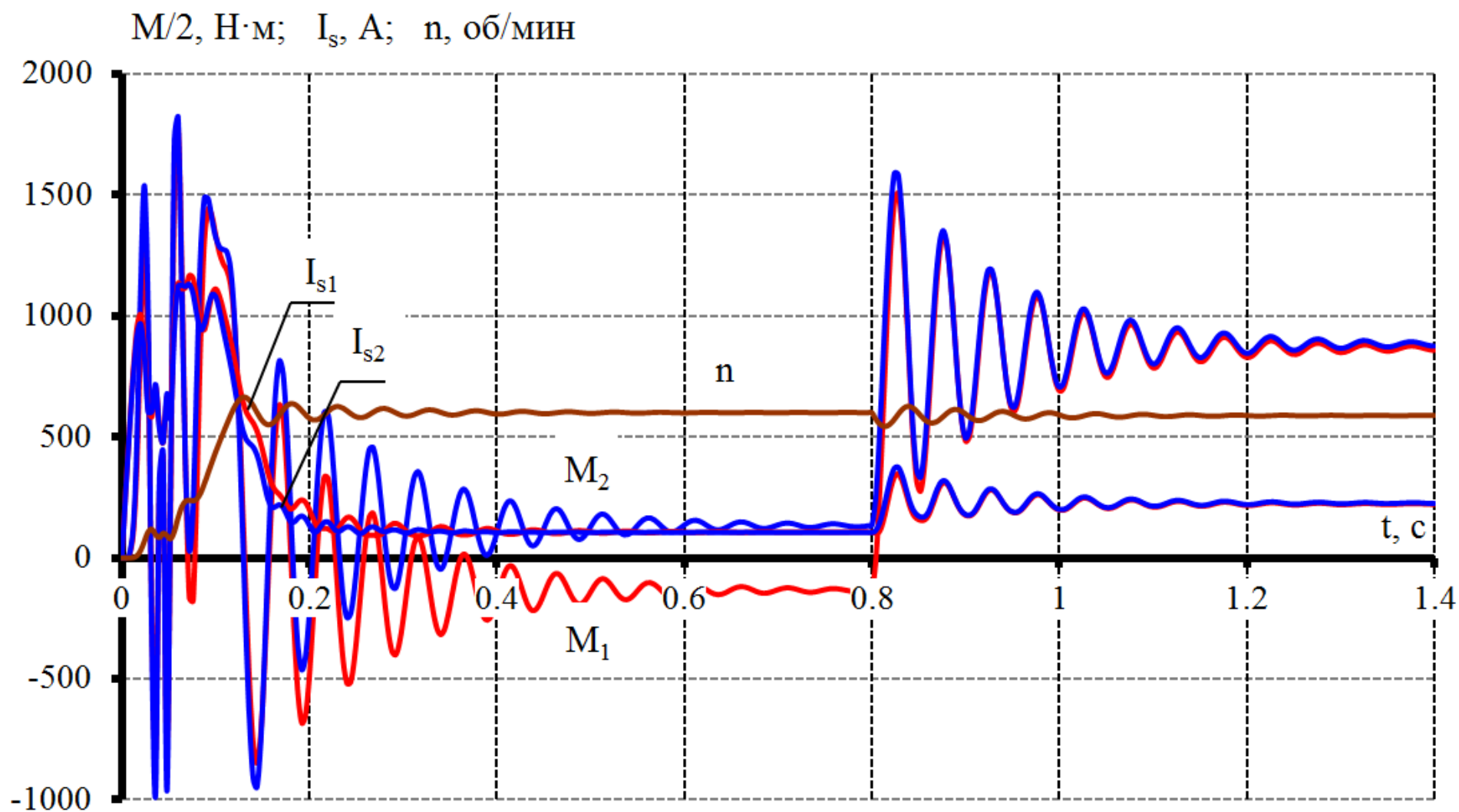


Рис. 23. Динамические характеристики скорости, момента и токов двух двигателей с коэффициентом $K_{\text{км}}=0,5$ первого двигателя и коэффициентом $K_{\text{км}}=1$ второго двигателя

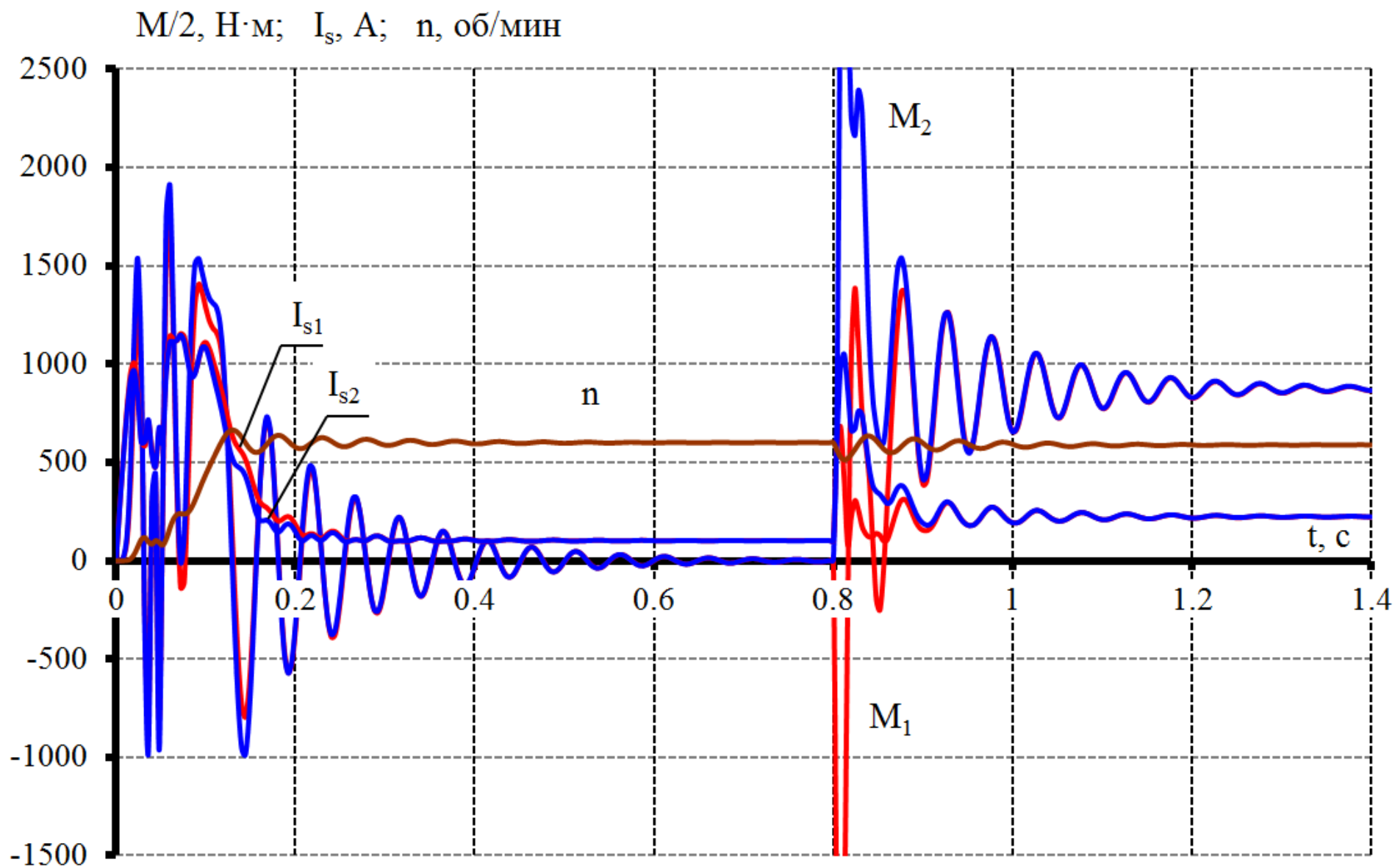


Рис. 24. Динамические характеристики скорости, момента и токов двигателей при набросе нагрузки

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г5А1	Меркурьев Владимир

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ конкурентных технических решений ИР	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР	Структура работ; Определение трудоемкости; Разработка графика проведения исследования
3. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	Расчет бюджетной стоимости ИП по разработке стенда
4. Оценка ресурсной эффективности ИР	Расчет интегрального критерия: Интегральный финансовый показатель разработки; Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки; Интегральный показатель эффективности; Сравнительная эффективность вариантов исполнения

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценка конкурентоспособности ИР
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Инвестиционный план. Бюджет ИП
5. Основные показатели эффективности ИП

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук Ирина Вадимовна	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Меркурьев Владимир		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Прогрессивный электропривод переменного тока содержит в себе приводной преобразователь частоты со звеном тока постоянного и инвертором с широтно-импульсной модуляцией. В текущее время более повсеместно используются преобразователи с автономными инверторами напряжения.

Так как в виде источника питания применяется 3-х фазная сеть переменного тока, то в состав преобразователя частоты включен 3-х фазный неуправляемый с использованием диодов либо управляемый выпрямитель. В преобразователь интегрирована система управления эл-привода с микропроцессорным управлением и наружным интерфейсом, обеспечивающим пользователям широко форматные способности фактического использования.

Набор существующих аппаратных средств совместно со интегрированным программным обеспечением позволяет воплотить разные конфигурации привода от простых разомкнутых систем до более сложных закрытых систем регулировки как положением, так и скоростью.

Цель работы является модернизация электропривода охладителя агломерата посредством замены электропривода постоянного тока на современный асинхронный электропривод с частотным управлением.

Анализ технической целесообразности заключается в выявлении преимуществ и недостатков, с точки зрения повышения технического уровня, в замене однодвигательного электропривода на двухдвигательный электропривод соответствии с техническими условиями.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;

- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Данный анализ проведен с помощью оценочной карты.

В рамках данной работы произведем сравнение приводов охладителя агломерата: 1) асинхронный двухдвигательный привод охладителя агломерата; 2) асинхронный однодвигательный привод охладителя агломерата; 3) электропривод постоянного тока

Таблица 2 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Надежность и безотказность	0.15	5	3	3	0.5	0.4	0.4
Уровень шума	0.075	4	4	4	0.3	0.225	0.225
Стоимость ремонта	0.05	5	4	3	0.2	0.15	0.15
Безопасность	0.1	5	4	4	0.5	0.3	0.3
Энергохарактеристики	0.125	4	2	1	0.5	0.125	0.125
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0.1	5	4	4	0.5	0.4	0.4

Уровень проникновения на рынок	0.05	5	5	4	0.25	0.25	0.25
Цена	0.075	5	3	3	0.375	0.225	0.225
Предполагаемый срок эксплуатации	0.1	3	3	3	0.3	0.3	0.3
Послепродажное обслуживание	0.075	4	4	3	0.3	0.3	0.3
Финансирование научной разработки	0.05	4	2	2	0.2	0.1	0.1
Наличие сертификации разработки	0.05	2	1	1	0.1	0.05	0.05
Итого	1	51	39	35	4.03	2.83	2.83

Согласно составленной оценочной карте наиболее конкурентоспособным в данной ситуации является вариант 1. Изучив их преимущества, делаем вывод о том, что спрос на предоставляемое техническое решение является наиболее оптимальным.

4.1.2 SWOT анализ

Для реализации данного проекта проведем SWOT-анализ, который позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также определить возможности проекта и угрозы.

SWOT-анализ представлен в табличной форме 3.

Таблица 3 - Матрицы SWOT

	Сильные стороны проекта: С1: Отсутствие необходимости более чем двух участников проекта С2: Универсальность разработки С3: Возможность разработки имитационной модели без применения сложного дорогостоящего оборудования С4: Знания участников проекта в данной области	Слабые стороны проекта: Сл1: Сложность системы Сл2: Повышение стоимости материалов Сл3: Для монтажа требуется спецтехника
--	---	---

Возможности проекта: В1: Разработка позволит достичь лучшего качества выдаваемого материала В2: Внедрение данной разработки в производство В3: Повышение надежности при использовании двух асинхронных двигателей В4: Использование полученных знаний в дальнейших исследованиях	В1В2С1С4: Возможность внедрения новых технологий без дополнительных затрат при помощи создания имитационных моделей В3В4С2С4: В случае отказа одного двигателя, охладитель останется в работе	В2В3Сл1Сл3: Повышение квалификации персонала В2Сл2: Увеличение стоимости при модернизации
Угрозы проекта: У1: Развитая конкуренция, появление более надежных агрегатов У2: Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции. У3: Риск несвоевременной поставки оборудования	У1У2С3С5: Оптимизировать работу коллектива что снизит время на выполнение работ. При этом за счет опытного научного руководителя качество проводимых исследований останется высокой.	У1Сл2: Использовать рекламу У3Сл2: Проработать логистику

В ходе анализа были изучены сильные стороны и возможности проекта, а также обозначены его слабые стороны и угрозы, которые необходимо учесть при реализации проекта.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель
	3	Календарное планирование работ по проекту	Инженер
Теоретические исследования	4	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель
Расчеты и моделирование	5	Выбор оборудования и расчет параметров двигателя	Инженер
	6	Расчет и построение характеристик двигателей	Инженер
	7	Имитационное моделирование асинхронного частотно-регулируемого привода	Инженер
Контроль и координирование проекта	8	Контроль качества выполнения проекта	Инженер
Оформление работы	8	Разработка принципиальной схемы	Руководитель
	10	Технико-экономические расчеты	Инженер
	11	Составление пояснительной записки	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления бюджета.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{max}i}}{5},$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (4.3):

$$T_{ki.мнж} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – календарный коэффициент.

Таблица 5 – Временные показатели проведения научного исследования

Название	Трудоёмкость работ		Длительность
----------	--------------------	--	--------------

работы	t_{\min} , чел-дни		t_{\max} , чел-дни		$t_{\text{ож}}i$, чел-дни		Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}		работ в календарных днях, T_{ki}	
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение задания	2		3		2,4	0	2,4	0	3	0
Выбор направления исследований	2	2	3	3	2,4	2,4	1,2	1,2	2	2
Календарное планирование работ по проекту	1		2		1,4	0	1,4	0	2	0
Подбор и изучение материалов по теме		2		3	0	2,4	0	2,4	0	4
Выбор оборудования и расчет параметров двигателя		2		3	0	2,4	0	2,4	0	4
Расчет и построение характеристик двигателей		2		3	0	2,4	0	2,4	0	4
Имитационное моделирование частотно-регулируемого привода		11		13	0	11,8	0	5,9	0	9
Контроль качества выполнения проекта	1		3		1,8	0	0,9	0	1	0
Разработка принципиальной схемы		1		2	0	1,4	0	1,4	0	2
Технико-экономические расчеты		2		3	0	2,4	0	2,4	0	4
Составление пояснительной записки		1		2	0	1,4	0	1,4	0	2

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 6).

Таблица 6 – Диаграмма Ганта

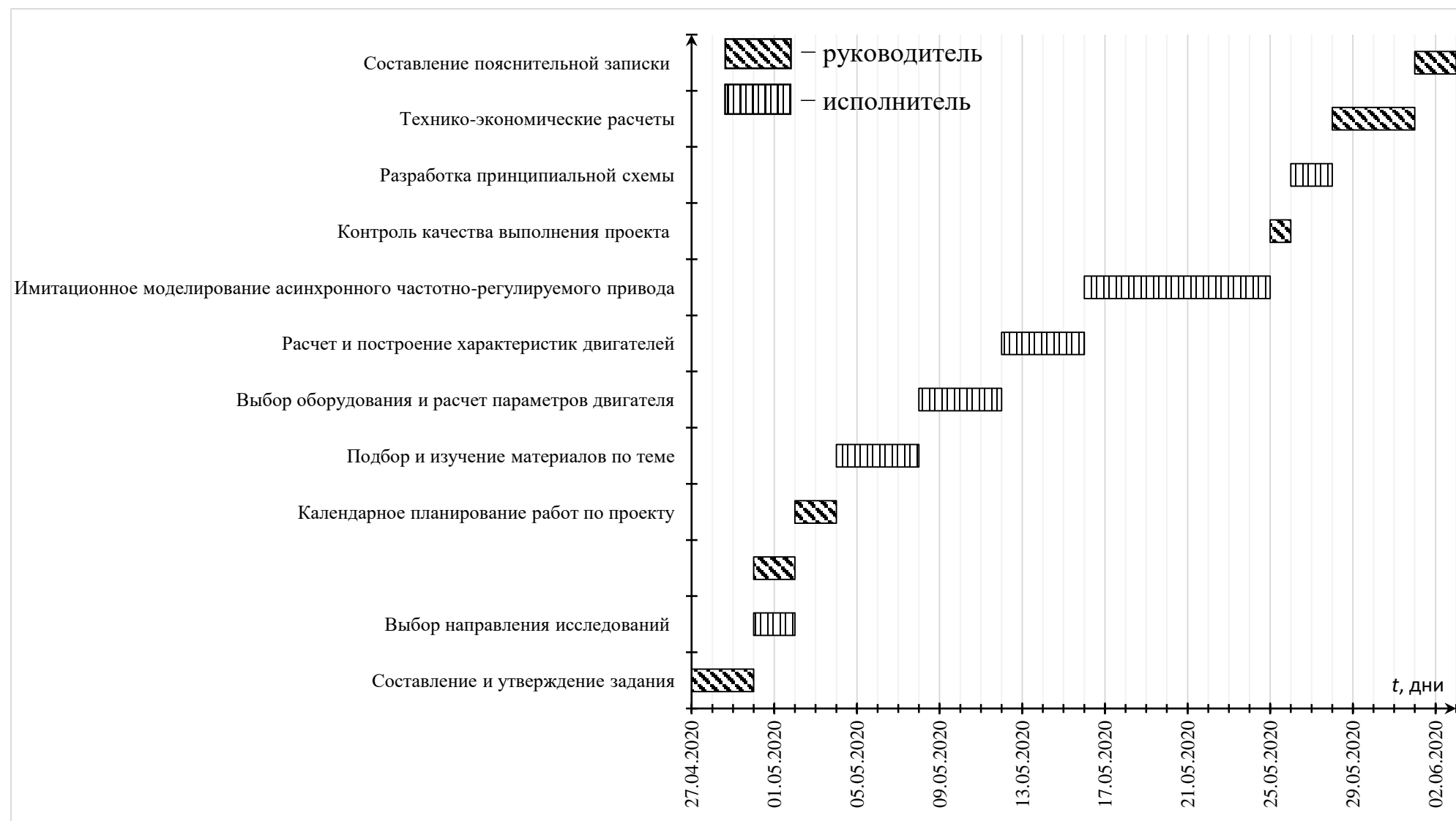


Таблица 7 – Сводная таблица по календарным дням

	Количество дней
Общее количество календарных дней для выполнения работы	37
Общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер	29
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	8

В результате выполнения подраздела был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей, а также рассчитано количество дней, в течение которых работал каждый из исполнителей.

4.2.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

4.2.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты — это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

В данном разделе будет составлен бюджет проекта, который учитывает все расходы, которые будут затрачены при выполнении проекта.

Таблица 8 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Ручка шариковая	50	4	200
Карандаш	30	4	120
Тетрадь, 48 листов	45	2	90
Бумага офисная «Снегурочка» 500 листов	290	1	290
Картридж для принтера	2600	1	2600
Итого:			3300

Цены приняты на основании прайс-листа поставщика материалов:
<https://www.kantsler.ru/index.php?ukey=home>

4.2.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m,$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Таблица 9 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования, лет	Время использования, мес.	$H_A, \%$	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Двигатель 2АИУ280М10	2	10	0,43	0,1	205042	734,7
2	Коммутационная аппаратура	2	10	0,43	0,07	30080	107,8
3	Преобразователь частоты	2	10	0,43	0,1	435432	1571,1
4	Ноутбук с ПО	1	3	1,18	0,33	36500	1196,4
Итого:		3609,9 руб.					

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Рассчитаем норму амортизации для двигателя 2АИУ280М10, с учётом того, что срок полезного использования составляет 10 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{10} = 0,1.$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m = \frac{0,1 \cdot 205042}{12} \cdot 0,43 = 734,7 \text{ руб.}$$

4.2.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $З_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 10).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_{\partial}} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; F_{∂} – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

– при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_{\partial}} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.}.$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_{\partial}) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.}$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_{\partial}) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.},$$

где $Z_{мс}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; k_{np} – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_{∂} – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 10 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	104/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48/5	24/10
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 11 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$З_{мс}, руб$	k_{np}	k_d	k_p	$З_m, руб$	$З_{он}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$З_{осн}, руб$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	8	17178,4
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	29	50549,9
Итого:								67728,3

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$З_{дон} = k_{дон} \cdot З_{осн} = 0,15 \cdot 17178,4 = 2576,7 \text{ руб.}$$

– для инженера:

$$З_{дон} = k_{дон} \cdot З_{осн} = 0,15 \cdot 50549,9 = 7582,5 \text{ руб.}$$

где $k_{дон}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

4.2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$З_{внеб} = k_{внеб} (З_{осн} + З_{дон}) = 0,3 \cdot (17178,4 + 2576,7) = 5926,5 \text{ руб.}$$

– для инженера:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (50549,9 + 7582,5) = 17439,7 \text{ руб.},$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

4.2.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи и т.д. Сумма 5 статьи затрат, рассчитанных выше, приведена в таблице ниже и используются для расчета накладных расходов.

Таблица 12 – Группировка затрат по статьям

Статьи					
1	2	3	4	5	6
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов
3609,9	3300	67728,3	10159,2	23366,3	108163,7

Величина накладных расходов определяется по формуле (4.16):

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр},$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет по форме, приведенной в таблице 13. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 13 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
1	Материальные затраты НИР	3300	3300	3300	Пункт 4.2.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	3502,4	5013,2	4489,4	Пункт 4.2.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	75509,1	75509,1	75509,1	Пункт 4.2.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	11326,3	11326,3	11326,3	Пункт 4.2.3.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды	26050,7	26050,7	26050,7	Пункт 4.2.3.4
6	Накладные расходы	21611,3	21913,4	21808,6	Пункт 4.2.3.5
Бюджет затрат НИР		108056,3	109567	109043,2	Сумма ст. 1-6

4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов

исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 108056,3$ руб, $\Phi_{\text{исп.1}} = 109567$ руб, $\Phi_{\text{исп.2}} = 109043,2$ руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр.}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр.}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{108163,7}{109567} = 0,986;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{109567}{109567} = 1;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{109043,2}{109567} = 0,995.$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 1 (текущий проект) с меньшим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 14).

Таблица 14 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка базового варианта	Бальная оценка аналога 1	Бальная оценка аналога 2
1. Надежность	0,3	5	3	3
2. Стабильность работы	0,2	4	4	4
3. Энергопотребление	0,2	4	5	3
4. Ремонтопригодность	0,15	5	4	4
5. Простота эксплуатации	0,15	4	4	4
Итого:	1	4,45	3,9	3,5

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,3 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 4,45;$$

$$I_{p2} = 0,3 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 3,9;$$

$$I_{p3} = 0,3 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 3,5.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}}.$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,45}{0,986} = 4,51; \quad I_{исп.2} = \frac{3,9}{1} = 3,9; \quad I_{исп.3} = \frac{3,5}{0,995} = 3,52.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 15).

Таблица 15 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,986	1	0,995
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,45	3,9	3,55
3	Интегральный показатель эффективности	4,51	3,91	3,52
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,86	0,78

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущий проект). Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество дней для выполнения работ составляет 37 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 29 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 8 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 108056,3 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,986, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,54, по сравнению с 3,9 и 3, 5;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,51, по сравнению с 3,9 и 3,52, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г5А1	Меркурьев Владимир

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Частотно - регулируемый электропривод охладителя агломерата	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является цех агломерационного производства. Система переработки агломерата и его охлаждение. Применяется на предприятии ОАО ЗСМК.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	-Система стандартов безопасности труда (ССБТ); -Федеральный закон «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» от 24.07.1998 (ред. от 07.03.2018) № 125; -Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 № 116; -Федеральный закон «О пожарной безопасности» от 21.12.1994 №69;
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<u>Вредные факторы:</u> -Запыленность (металлической, токопроводящей пылью различных фракций); -Загазованность; -Шум и вибрация; -Отклонение показателей микроклимата; -Недостаточная освещенность рабочей зоны. <u>Опасные факторы:</u> Возможность получения травм в следствии: -движения машин и механизмов; -движение производственного материала; -выброс горячего шлака из-под закигательного горна. -поражение электрическим током при обслуживании двигателя.
3. Экологическая безопасность:	-анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); -анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	-перечень возможных ЧС на объекте; -разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; -разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Меркурьев Владимир		

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Промышленное предприятие ОАО ЗСМК расположено на территории города Новокузнецка в специально выделенном промышленном районе. Цеха, с вредными выделениями, выделяются расположением с подветренной стороны по отношению к другим цехам. В необходимых случаях применяются пылеулавливание и газоочистка.

Между предприятием и жилым районом создана санитарно-защитная зона, ширина которой 2000м. Metallургический комбинат относится к 1 классу по количеству вредных веществ, выбрасываемых предприятием в воздушный бассейн СанПиН 2.2.4.548 - 96.

В санитарно-защитной зоне расположены пожарное депо, гаражи, склады и проводится озеленение на территории предприятия, в свою очередь, между отдельными зданиями и сооружениями существуют санитарные разрывы, которые обеспечивают не затенение оконных проемов, а отделяют объекты друг от друга и от остальных сооружений. Разрывы между зданиями используют под зеленые насаждения.

Подход рабочих к цеху проходит, согласно установленному маршруту, по специально оборудованным пешеходным тротуарам, подземным переходам, переход железнодорожных путей осуществляется через установленные лабиринты. Перед входом на территорию комбината, возле проходной, и при выходе из цеха находятся стенды со схемами маршрутов движения по комбинату и непосредственно к цеху.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Законодательство РФ об охране труда основывается на Конституции РФ и состоит из федеральных законов и иных нормативных правовых актов субъектов РФ. Среди них можно выделить следующие [1]: Постановления

Правительства РФ “О государственном надзоре и контроле за соблюдением законодательства РФ о труде и охране труда”, “О службе охраны труда”, “О Федеральной инспекции труда” и др. Управление охраной труда осуществляет блок федеральных органов исполнительной власти, руководимый Министерством здравоохранения и социального развития Российской Федерации (Минздравсоцразвития). Оно осуществляет функции государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере здравоохранения и социального развития, социального страхования, условий и охраны труда и т. д.

Трудовые отношения работников Государственного Предприятия:

ОАО «ЗСМК» регулируются трудовым законодательством Российской Федерации, коллективным договором, приказами, инструкциями и иными локальными нормативными актами.

Согласно коллективному договору и Правилам внутреннего трудового распорядка рабочим считается время, в течение которого работник в соответствии с распорядком или графиком работы должен выполнять трудовые обязанности.

Нормальная продолжительность рабочего времени для работников комбината не может превышать 40 часов в неделю.

Основной рабочей неделей для работников комбината является – пятидневная неделя.

Режим рабочего времени работников комбината, работающих в одну смену, устанавливается:

При 5-ти дневной рабочей неделе:

- начало работы — 8.00;
- перерыв — 12.00 — 13.00;
- окончание работы — 17.00.

Работникам, которым по условиям работы невозможно предоставить время обеденного перерыва, устанавливается время для приема пищи в рабочее

время. Перечень таких работ, время начала и окончания и место приема пищи определяются графиком сменности, утверждаемым работодателем по согласованию с профсоюзным комитетом.

5.2 Производственная безопасность

5.2.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

Агломерационный цех является сложным производственным комплексом, оснащенным разнообразным механическим, электрическим и подъемно-транспортным оборудованием, обслуживание которого требует четкого и неукоснительного соблюдения производственной санитарии.

Практически все участки агломерационного цеха резко отличаются друг от друга по метеорологическим условиям. На участке спекания и транспортировке горячего агломерата тепловое излучение намного превышает санитарные нормы, имеет место пониженная влажность воздуха, в то время как на остальных участках производства температурные условия соответствуют нормам. Для агломерационного цеха характерна большая протяженность и разнообразность производственных механизмов, имеющих дистанционное управление расположенных на высоте и в подвальных помещениях, что, безусловно, снижает видимость и слышимость световой, и звуковой информации, затрудняет прием предупредительных сигналов.

Опасными факторами агломерационного цеха являются:

- Возможность получения травм в следствии:
 - а) движения машин и механизмов;
 - б) движение производственного материала;
 - в) выброс горячего шлака из-под зажигательного горна.
- Поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.

Основными вредными факторами агломерационного цеха являются:

- Запыленность (металлической, токопроводящей пылью различных фракций);
- Загазованность;
- Шум и вибрация.

Таблица 16 – Возможные опасные и вредные факторы.

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата				СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2.Превышение уровня шума	+	+		СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
3.Погрузочно-разгрузочные работы	+	+	+	РД 10-34-93 Типовая инструкция для лиц, ответственных за безопасное производство работ кранами.
4.Освещение	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23- 05-95*.[17]
5.Электробезопасность	+		+	ГОСТ 12.1.019-79 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты (с Изменением № 1).

5.2.2 Запыленность и загазованность

Основные технологические операции агломерационного цеха сопровождаются выделением значительного количества пыли. Пыль в основном состоит из окислов железа с примесью других веществ.

Другим фактором, характеризующим санитарно-гигиенические условия труда в агломерационном цехе, является загазованность. Наличие в атмосфере цеха различных вредных газов и аэрозолей обусловлено нарушениями технологического режима, неисправностью и несовершенством технологического оборудования. В табл. 10 приведено содержание некоторых вредных веществ в воздухе рабочей зоны цеха и для сравнения ПДК по ГОСТ 12.1.005-88.

Таблица 17 – Содержание некоторых вредных веществ в воздухе рабочей зоны аглоцеха.

Наименование вещества	Концентрация вещества в воздухе, мг/м ³	ПДК, мг/м ³	Превышение в количество раз
агломерационная пыль	17,0	4,0	4,25
SiO ₂	6.1	-	-
CO	Не обнаружено	20,0	-
SO ₂	Не обнаружено	20,0	-
NO ₂	Не обнаружено	5,0	-

5.2.3 Шум

Источником шума являются колебания твердых, газообразных или жидких сред. При работе вибропитателя возникает шум электромагнитного происхождения, возникающий вследствие колебаний электрических устройств (ротора, статора) под действием переменных магнитных полей, шум механического происхождения, возникающий при вибрации поверхностей

оборудования трением горной массы на грузонесущий орган вибропитателя. Шум разной интенсивности возникает при загрузки рудой производственных бункеров цеха измельчения, при загрузки шаров на барабанные мельницы. А также сам процесс измельчение руды в мельницах является очень шумным.

Воздействие шума на организм может проявляться в виде специфического поражения органа слуха, нарушении ряда других органов и систем организма, снижения производительности труда, повышения уровня травматизма.

Согласно [1] шум по максимальному превышению ДУ звукового давления в любой октавной полосе в вредных, тяжелых условиях труда до 30 дБ.

Основными мероприятиями по защите от шума являются устранение причины шума или существенное его ослабление в самом источнике образования. Если шум возникает из-за механических неисправностей оборудования (например: выход из строя подшипников электродвигателей, недостаточная смазка редукторов конвейера и коренных подшипников мельницы) необходимо принять меры по устранению этих неисправностей, путем своевременным и качественным ремонтом оборудования, грамотным составлением план-графиков капитального ремонта и планово-предупредительных ремонтов. Если источник шума не может быть ликвидирован, необходимо применять средства индивидуальной защиты – противошумы в виде берушей, наушников и шлемов.

5.2.4 Производственная вибрация

Низкочастотная общая вибрация вызывает длительную травматизацию межпозвоночных дисков и костной ткани, смещение органов в брюшной полости, возникновение и прогрессирование дегенеративных изменений позвоночника.

Нормы локальной вибрации по максимальному превышению ДУ в любой октавной полосе по виброскорости в вредных, тяжелых условиях труда до 9 дБ. [1,3]

Местная вибрация может оказывать благоприятное воздействие на организм, но может стать причиной заболеваний, таких как нейрососудистые расстройства рук, снижение всех видов кожной чувствительности, слабость в кистях рук.

Защита от вибраций:

- Ограничение контакта работника с вибрацией

5.2.5 Освещенность

Правильно спроектированное и выполненное освещение на предприятиях обеспечивает возможность нормальной производственной деятельности. Сохранность зрения человека, состояние его центральной нервной системы и безопасность труда в значительной мере зависят от освещенности.

Помещение, по возможности, должно освещаться естественным светом, так как оно оказывает благоприятное влияние на психику. Если естественного освещения недостаточно, то необходимо применять искусственное освещение от различных светильников. Нормальная освещенность рабочего места зависит от характера работ и составляет для помещения оператора 400 лк, для общего освещения 50 лк – группа региона 1 (Кемеровская область).

5.3 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

Опасными факторами агломерационного цеха являются:

Возможность получения травм в следствии:

- а) движения машин и механизмов;

- б) движение производственного материала;
- в) выброс горячего шлака из-под зажигательного горна.
- г) Поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.

При эксплуатации агломерационного оборудования в цехе , к которому относится и проектируемый электропривод, могут возникнуть опасности из-за огромного количество движущихся машин и механизмов, вращающихся частей производственного оборудования.

Сам процесс ремонта и наладки привода агломерационного производства, по сути является непосредственным прикосновением работника к вращающимся частям оборудования. Поэтому при ремонтах и наладки привода строго выполнить организационно-технические мероприятия, к которым относится:

- оформление работы нарядом – допуском, в котором указывается меры по безопасному выполнению данной работы;
- произвести необходимые отключения и принять меры препятствующие к подаче напряжения к рабочему месту в следствии ошибочного или самопроизвольного включения коммутационной аппаратуры;
- на ключах дистанционного управления вывесить плакаты «Не включать работают люди»
- Проверить отсутствия напряжения и наложить заземления;
- оградить рабочее место.

Для уменьшения риска устанавливается по периметру ограждения (кожухи, козырьки, дверцы, щиты, барьеры) на все вращающиеся и движущиеся оборудования. Все работники обеспечены спец одеждой и спецобувью, для защиты головы от падения инородных тел всем строго ходить в защитных касках.

К опасным факторам можно отнести наличие большого количества аппаратуры, использующей электрический ток напряжением от 42 В до 380 В и частотой 50Гц. По опасности электропоражения рабочее место с повышенной опасностью, характеризующиеся наличием следующих условий: возможности

одновременного прикосновения человека к соединенным с землей металлическим частям зданий, технологических аппаратов, механизмов, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования — с другой.

Поражение человека электрическим током может произойти в следующих случаях:

- прикосновение к токоведущим частям, оголенным проводам, контактам электроприборов, рубильников, предохранителей, находящихся под напряжением;
- прикосновение к частям электрооборудования, металлическим конструкциям сооружений и т.п., в обычном состоянии не находящихся, но в результате повреждения (пробоя) изоляции оказавшихся под напряжением;
- несогласованные и ошибочные действия персонала (подача напряжения на установку, где работают люди; оставление установки под напряжением без надзора; допуск к работам на отключенном электрооборудовании без проверки отсутствия напряжения и т.д.).

Основными мероприятиями по обеспечению электробезопасности являются:

- изолирование (ограждение) токоведущих частей, исключающее возможность случайного прикосновения к ним;
- установки защитного заземления;
- своевременный осмотр технического оборудования, изоляции.

5.4 Экологическая безопасность

Западно-Сибирский металлургический комбинат является крупнейшим предприятием черной металлургии в России, поэтому для его нормального функционирования необходимо проводить мероприятия по защите воздушного и водного бассейнов в городе Новокузнецке.

Накопление вредных веществ в окружающей среде оказывает влияние как на растительный и животный мир, так и на человека и приводит к нарушению нормальных жизненных условий. Технологический процесс производства черных металлов сопровождается образованием большого количества различной пыли и сажи, загрязняющих атмосферу. Для того чтоб избежать этого в цехе производят очистку выбрасываемой в атмосферу пыли и сажи с помощью пылеотделителей различной конструкции. Например пылеосадочная камера бункерного типа где принцип осаждения пыли основан на резком снижении скорости движения загрязненного воздуха в камере, где пылинки, теряя скорость, под действием силы тяжести, оседают на дно.

На предприятиях черной металлургии водоснабжение достигает больших объемов. Для очистки сточных вод используют методы отстаивания, фильтрования, нейтрализация, озонирование и т.д. содержание загрязняющих веществ составляет на окончательном этапе 500-5000 мг/л и является не агрессивным. Помимо очистки, сточные воды подвергаются охлаждению и перед спуском в реку Томь, и перед повторным использованием в производственных нуждах.

В охране окружающей среды важную роль играют службы контроля качества окружающей среды, призванные вести систематизированное наблюдение за состоянием атмосферы, воды и почв для получения фактических уровней загрязнения. Полученная информация позволяет быстро выявить причины повышения концентрации вредных веществ в окружающей среде и активно их устранить.

Защита окружающей среды современным этапе, помимо экономической задачи повышения общественной производительности труда, включает также и социальную задачу – улучшение условий жизни человека, сохранение его здоровья. Понятие эффективности в этом случае включает не только технико-экономическую эффективность, но и социальную, и экологическую в масштабе народного хозяйства данного региона и страны в целом.

5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Возможные чрезвычайные ситуации

1. Взрыв гремучей смеси в горне агломашины №1.
2. Загорание помещения силового управления №78 (ПСУ-78) приводом агломашины №1

Способы и средства предотвращения аварии

1. Выполнение графика ППР.
2. Наличие и готовность резервного вентилятора и аппаратуры.
3. Тренировка оперативного персонала.
4. Наличие резерва запасных частей, материалов, инструментов, оборудования.
5. Наличие резервного питания в ПСУ-78.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной выпускной квалификационной работы является усовершенствование электропривода охладителя агломерата посредством замены двигателя постоянного тока на новый асинхронный двигатель и с частотным регулированием

Предложено сменить существующий морально устаревший и выработавший ресурс неуправляемый электропривод на частотно–регулируемый асинхронный электропривод. Используя результаты расчета требуемой мощности двигателя, выбран современный электродвигатель 2АИУ280М10, а также современный преобразователь частоты ACS850-04-103A-5+J414 фирмы ABB

В результате выполненной выпускной квалификационной работы спроектирован электропривод, целиком соответствующий требованиям технического задания. Спроектированный электропривод обеспечивает требуемый диапазон регулирования по скорости при требуемой заданной кратности пускового и максимального момента, а так же точности поддержания скорости не менее 5%.

Основными результатами, которые могут быть получены путем замены нерегулируемого электропривода на современный асинхронный электропривод с частным управлением, являются следующие:

- плавный пуск охладителя агломерата с малыми перегрузками электрической и механической частей привода и малым влиянием на питающую сеть;
- независимое регулирование конвейером позволяет реализовать плавное управление скорости в соответствии с технологическим процессом;
- преобразователи частоты несложно интегрируются в общую систему управления как первичный высокоинтеллектуальный элемент автоматики, не требуют сложных согласующих схем и обладают широким набором сервисных

возможностей, включая контроль тока и скорости приводного двигателя и развитую систему защит.

Заданный курс модернизации электропривода охладителя агломерата позволяет не только заместить морально устаревшее и материально изношенное оборудование, но и решить ряд задач технико-экономического характера, а собственно: уменьшить эксплуатационные издержки по обслуживанию системы, улучшить гибкость управления, предоставить возможность интеграции в систему управления верхнего уровня. Целью дальнейшей работы является создание адаптивного регулятора, в котором коэффициенты K_{km} и $K_{кс}$ будут подключаться в зависимости от условий работы.

CONCLUSION

The purpose of this final qualifying work is the modernization of the electric sinter cooler by replacing the DC motor toga with a modern asynchronous motor with frequency regulation

It is proposed to replace the existing obsolete and end-of life on unregulated electric variable frequency asynchronous electric. As a result of calculating the required output of the engine is selected 2AIU280M10 motor and frequency converter ACS850-04-103A-5 + J414 ABB

As a result, completed the final qualification paper designed electric, fully meets the requirements of technical specifications. The drive provides the required speed range for a given multiplicity of starting and maximum torque and speed accuracy at least 5%.

The main results that can be obtained by replacing the non-regulated electric drive on a modern asynchronous electric drive with private management, are as follows:

- Soft start sinter cooler with small overload electrical and mechanical parts of the drive and the small impact on the supply network;
- Independent control of conveyor allows stepless speed control in accordance with the process;
- Frequency converters can be easily integrated into the overall control system as a grassroots intelligent automation components do not require a complex matching networks and have a wide range of service capabilities, including control of current and speed of the drive motor and advanced security systems

Proposed way of modernization of the electric sinter cooler can not only replace the obsolete and worn-out equipment, but also to solve a number of problems of technical and economic nature, namely, to reduce operating costs for system maintenance, increase management flexibility, enable integration into higher-level control. The aim of future work is to develop an adaptive controller, in which the coefficients PFC and CCF will adjust depending on the operating conditions

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 8. Учебное пособие. – Томск, 2010. – 448с
- 2 Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 6. Учебное пособие. – Томск, 2007. – 148с
- 3 Мальцева О.П., Удут Л.С., Кояин Н.В. Системы управления электроприводов. Учебное пособие.– Томск, 2007. – 152с
- 4 Донченко А.С., Донченко В.А. Справочник механика рудообогатительной фабрики. –М.: Недра, 1986. – 543 с.
- 5 http://privod34.ru/catalog/preobrazovatel_chastoty_i_acs850/
- 6 Ключев В.И. Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с.
- 7 Марон Ф.Л., Кузьмин А.В. Справочник по расчетам механизмов подъемно–транспортных машин. Минск, 1977. – 272 с.
- 8 Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины: Учебное пособие.–М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.
- 9 Алиев И. И. Электротехнический справочник. – М.: ИП РадиоСофт, 2000. – 384 с.
- 10 . Поздеев А.Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемых асинхронных электропроводах. – Чебоксары: Изд-во Чуваш.ун-та, 1998. – 172 с.
- 11 <http://profitreid.ru/products/engines/explosion-proof-electric-engines>
- 12 Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. М.:Энергия, 1977 г. – 400 с.
- 13 Система образовательных стандартов. Работы выпускные квалификационные, проекты и работы курсовые. СТО ТПУ2.5.01–2006. ТПУ, 2006.

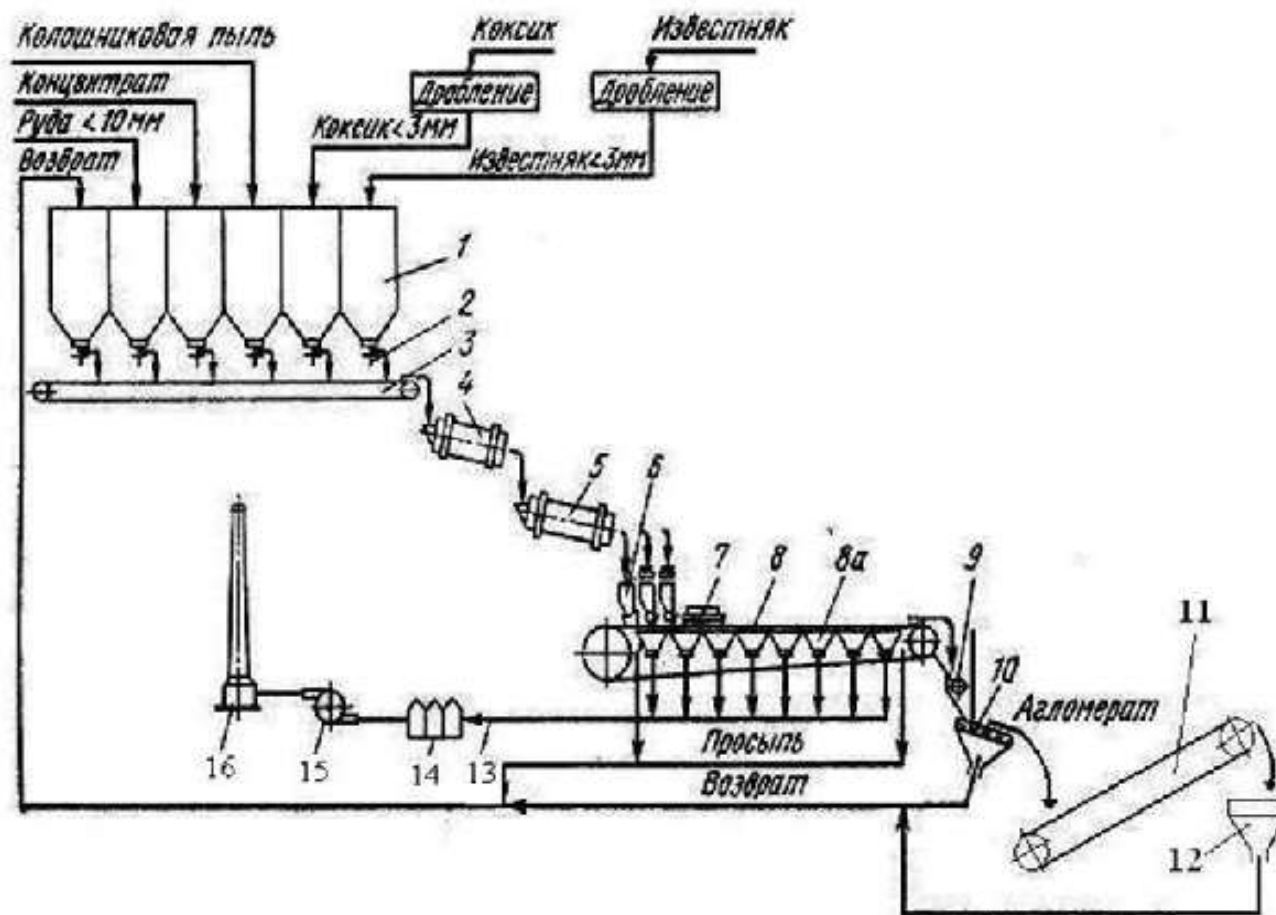
- 14 Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
- 15 Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г.
- 16 Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.
- 17 Сущность методики FAST в области ФСА [Электронный ресурс] <http://humeur.ru/page/sushhnost-metodiki-fast-v-oblasti-fsa>
- 18 Руководство к своду знаний по управлению проектами (Руководство РМВОК), 4-е издание, 2008 г.
- 19 Мазур И.И., Шапиро В.Д., Ольдерогге Н.Г. Управление проектами: Учебное пособие. – М.: Омега-Л, 2004. – 664 с.
- 20 Попова С.Н. Управление проектами. Часть I: учебное пособие / С.Н. Попова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 121 с.
- 21 Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция), утверждено Министерство экономики РФ, Министерство финансов РФ № ВК 477 от 21.06.1999 г. [Электронный ресурс]. - Режим доступа . - <http://www.cfin.ru/>
- 22 ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
- 23 СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
- 24 ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация
- 25 СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
- 26 ГОСТ 12.1.012–90 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования.
- 27 ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

- 28 ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
- 29 ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация
- 30 ГОСТ 30773-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла. Основные положения
- 31 ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования
- 32 "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ

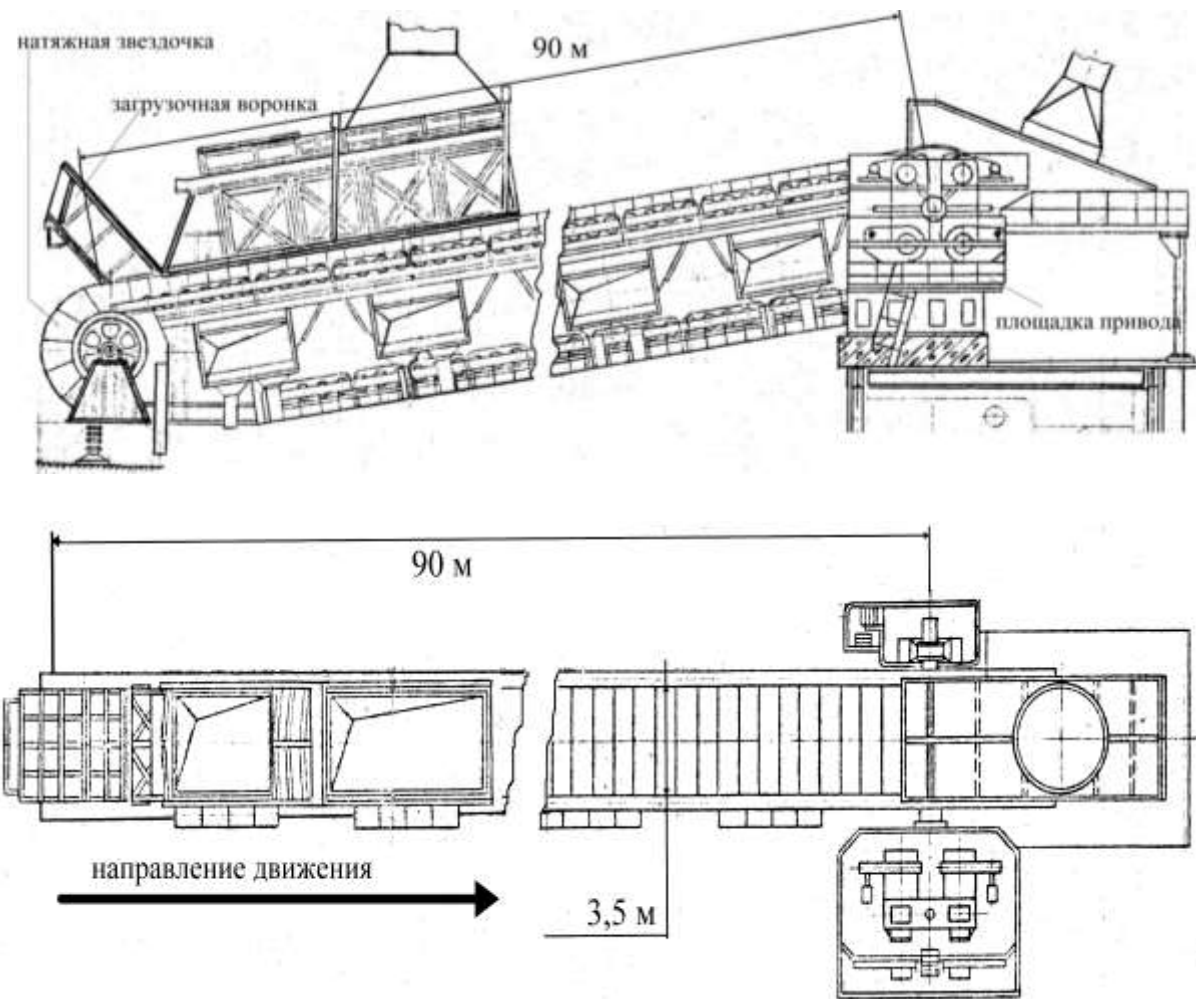
ПРИЛОЖЕНИЕ А

Графический материал.

Принципиальная схема технологического процесса агломерации:



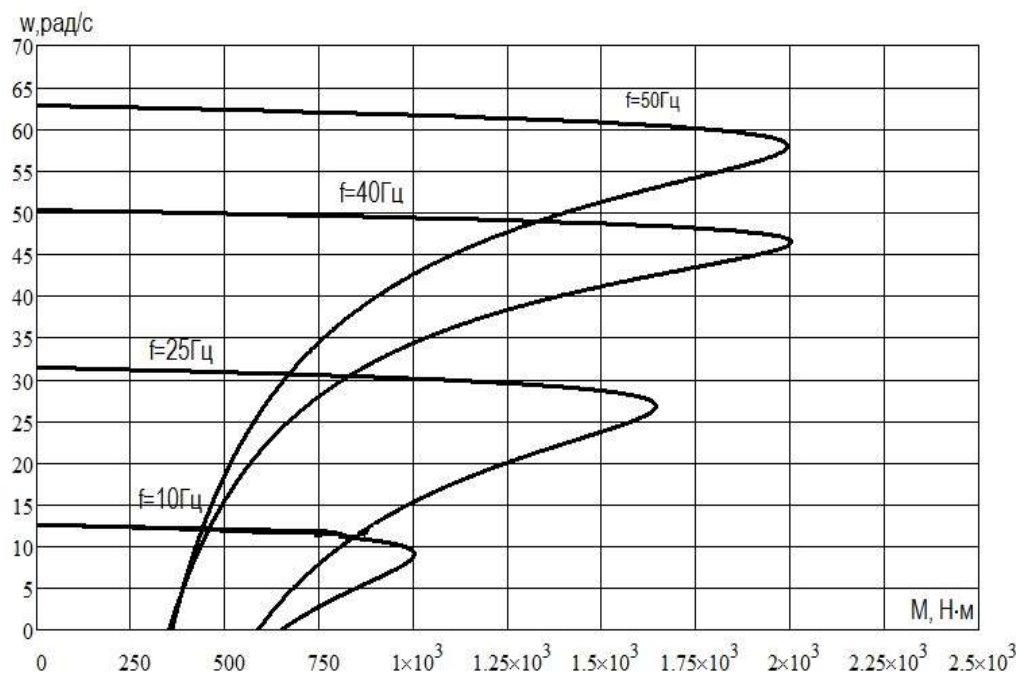
Общий вид охладителя агломерата ОП-315



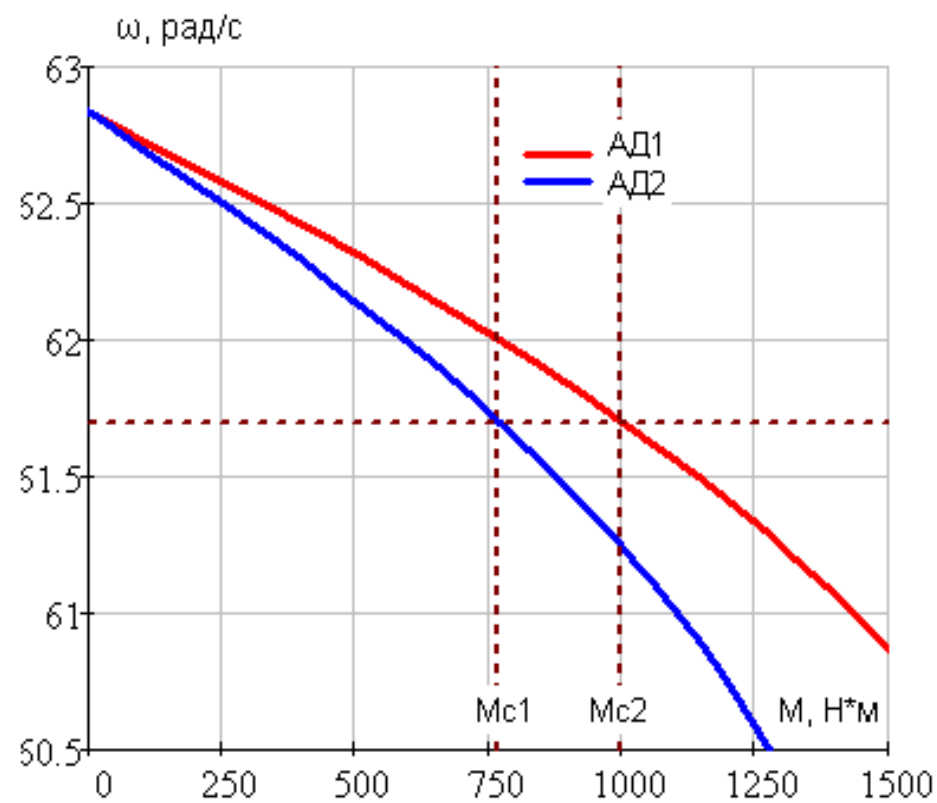
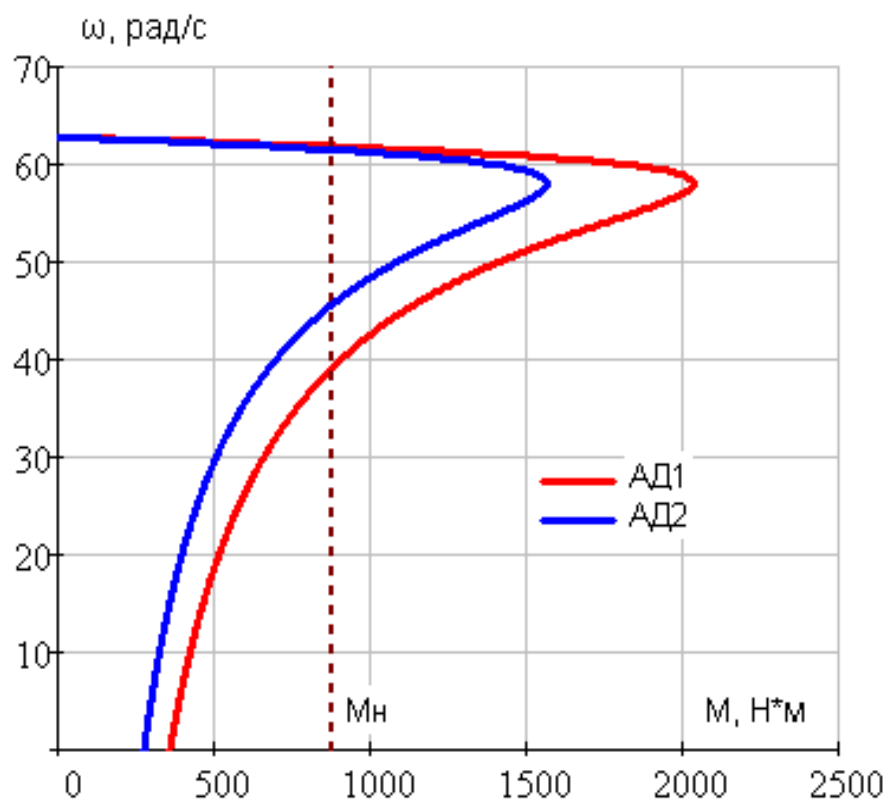
Статические характеристики:

Таблица 4- Расчетные параметры для электромеханических характеристик

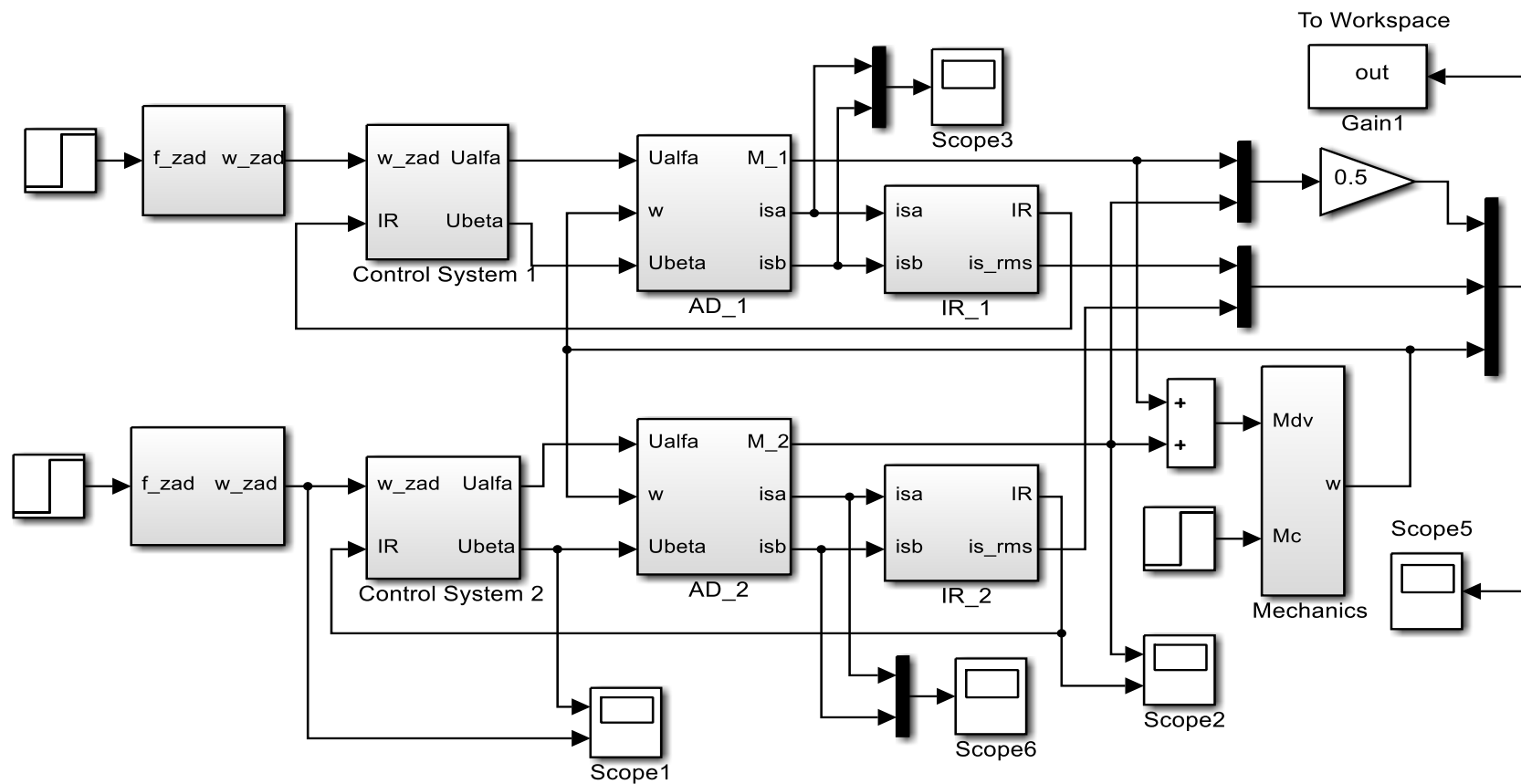
$f_{нр}, \text{Гц}$	f_j°	$U_j, \text{В}$	$\omega_j, \text{рад/с}$
50	1	220	62.83
40	0.8	176	50.26
25	0.5	110	31.4
10	0.2	44	12.56



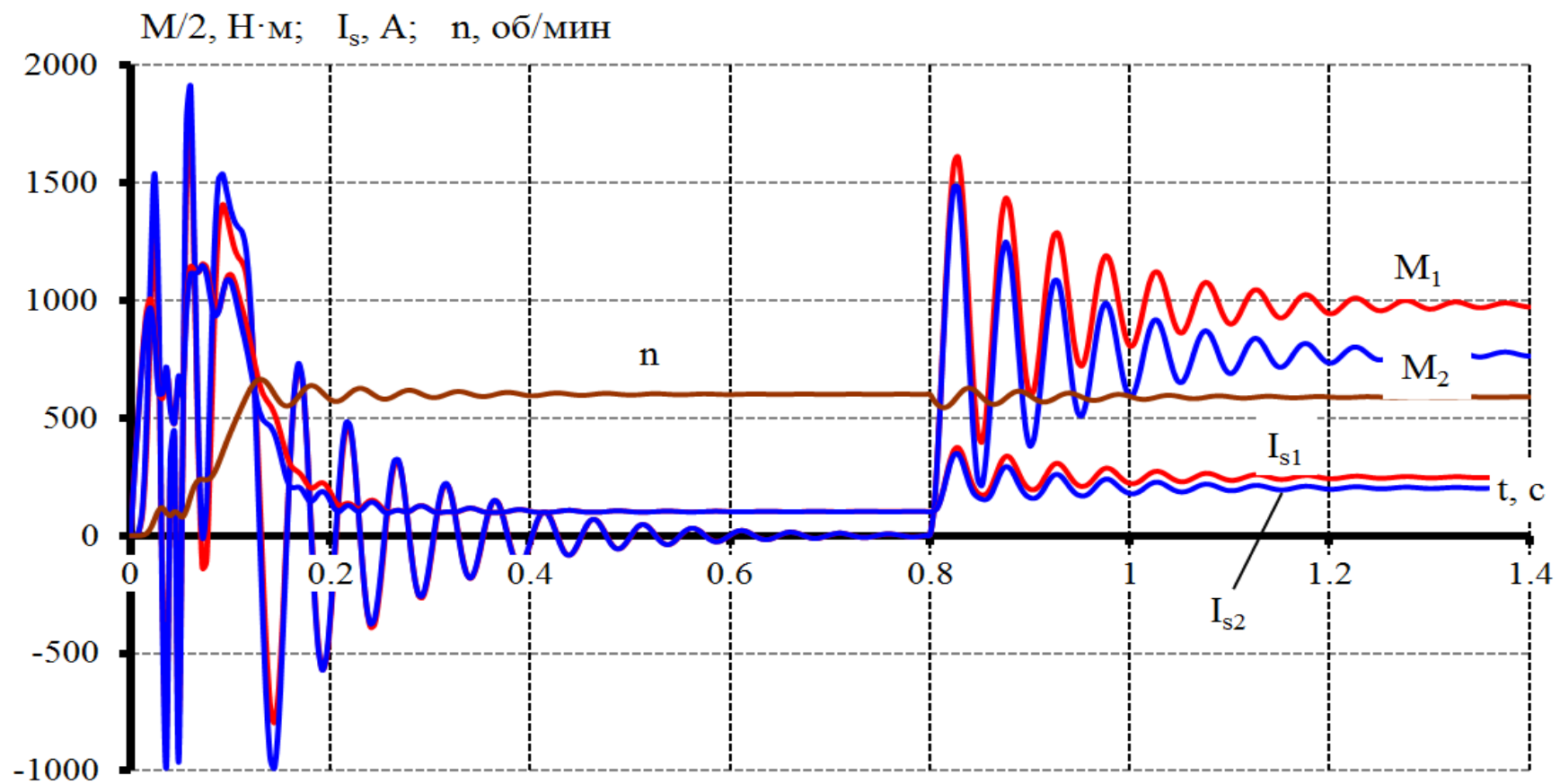
Статические механические характеристики $M=f(\omega)$



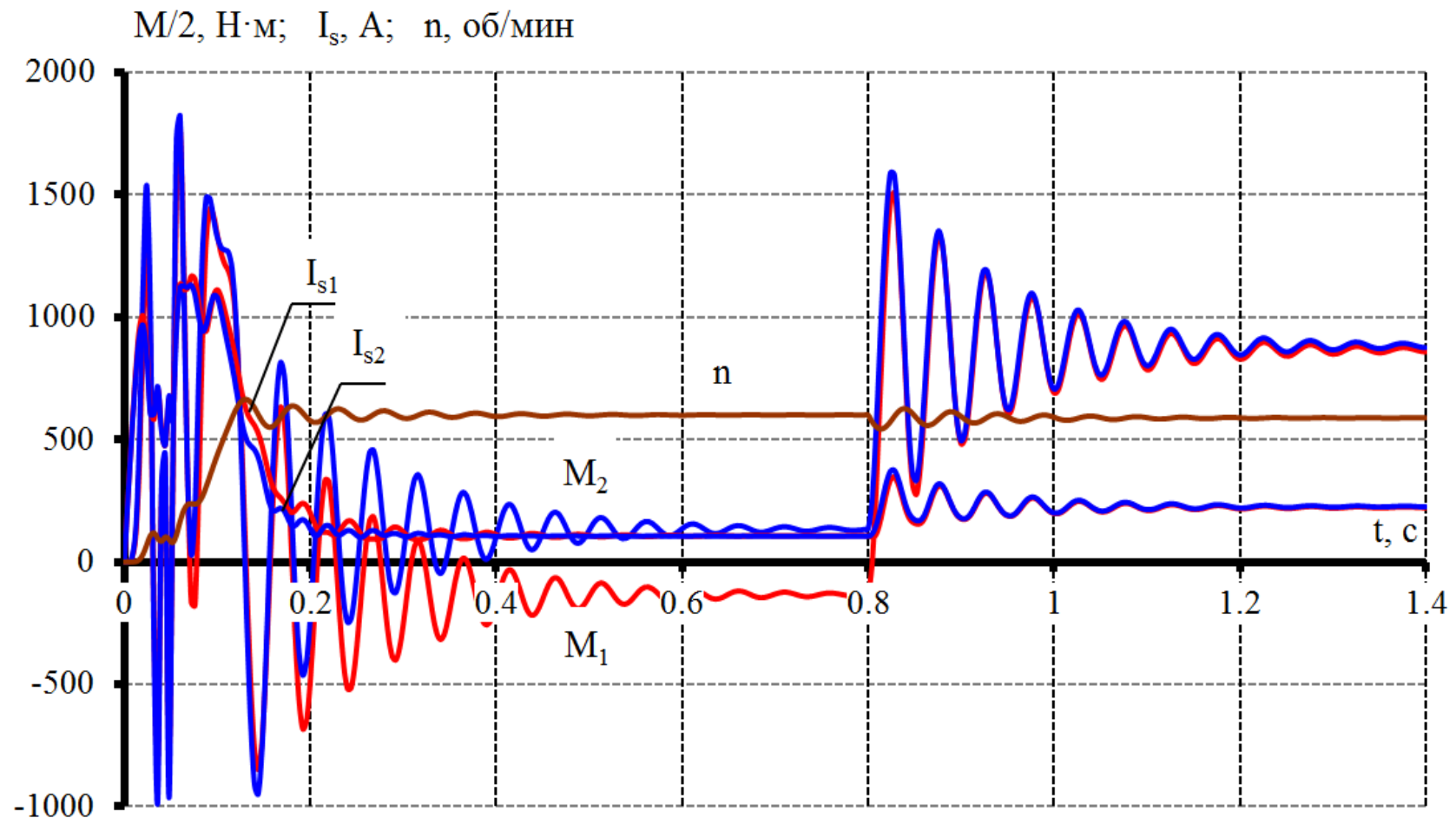
Имитационная модель электропривода охладителя агломерата:



Динамические характеристики скорости, моментов и токов двигателей без компенсации скольжения и момента



Динамические характеристики скорости, момента и токов с компенсациями по моменту и скольжению



Динамические характеристики скорости, момента и токов с компенсациями по моменту и скольжению

